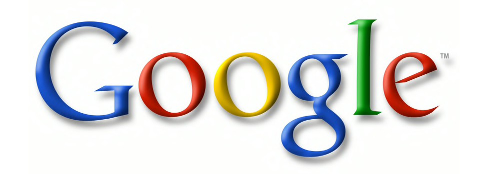
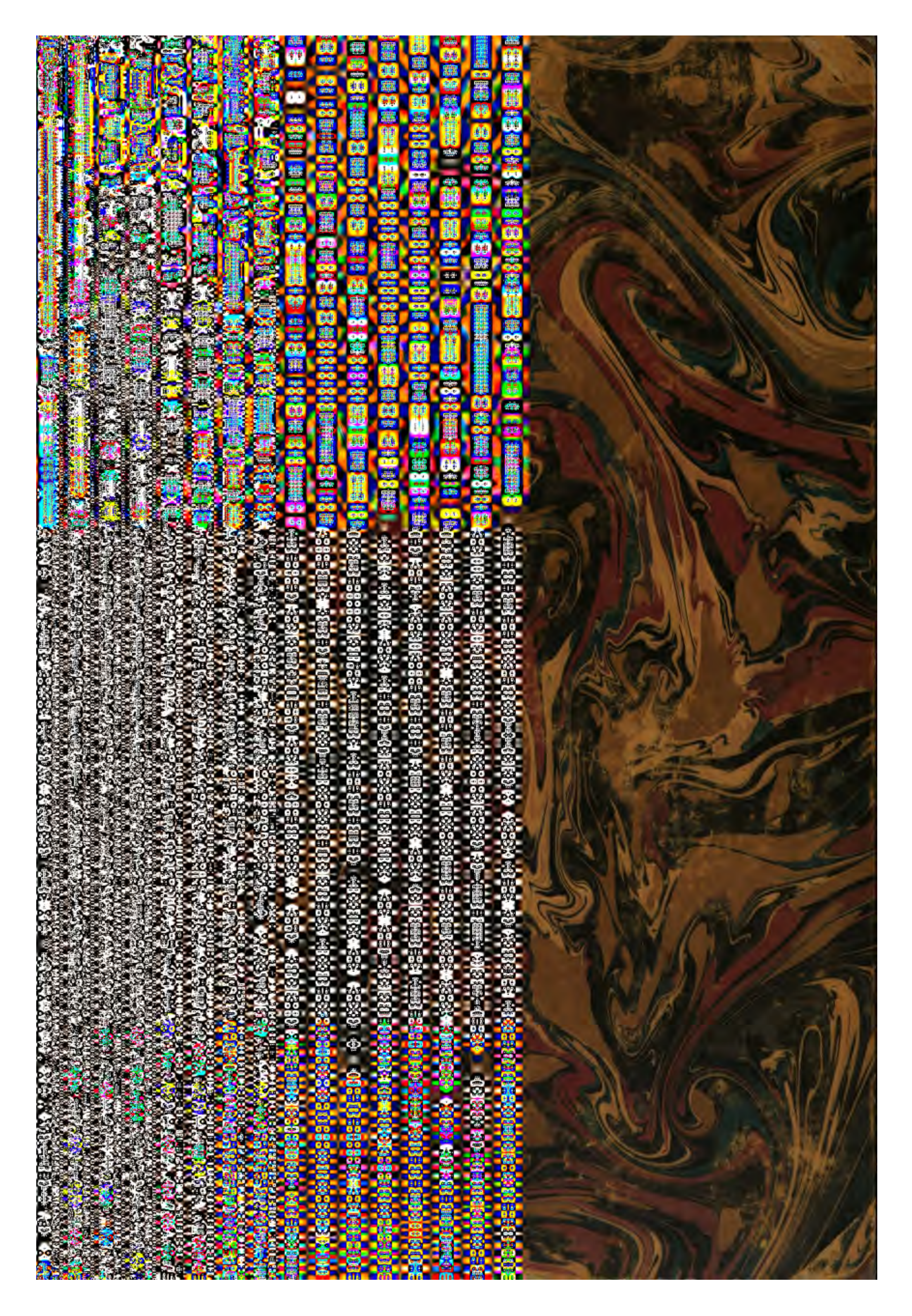

Google



Studien

über die

Wärmeverhältnisse des Eisenhohofenprozesses

mit besonderer Berücksichtigung

auf den hierbei geübten Einfluss des erhitzten Windes.

Von

Richard Åkerman.

Aus Jern-Kontorets Annaler für das Jahr 1871.

Uebersetzt und mit einem Vorworte begleitet

von

P. Tunner.

Mit zwei lithographirten Tafeln.

Leipzig.
Verlag von Arthur Felix.
1872.

Vorwort.

Obgleich nicht viel mehr als ein Jahr verflossen ist, seit ich die deutsche Uebersetzung der in jeder Beziehung originellen Arbeit des Herrn J. Lowthian Bell, „Ueber die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhohöfen von verschiedenen Dimensionen“ veröffentlicht habe, und auf die Gefahr hin, dass ich bei meinen Berufsfreunden die Besorgniss errege, als sei ich bereits der Altersschwäche oder der eigenen Denkfaulheit erlegen, übergebe ich hiermit abermals eine Uebersetzungsarbeit bezüglich desselben Gegenstandes.

Das Original der vorliegenden Uebersetzung hat Herrn Richard Åkerman, Adjuncten und Dozenten der Eisenhüttenkunde an der mit der polytechnischen Schule in Stockholm vereinigten Bergakademie zum Verfasser, und ist in den Jern-Kontorets Annaler für 1871 erschienen. Wahrscheinlich wurde Herr Åkerman zu dieser Arbeit durch meine Eingangs genannte Uebersetzung veranlasst, welche er in der Note auf Seite 19 citirt und im Verlaufe sich mehrmals darauf beruft. Gleich nachdem ich die Uebersetzung der Arbeit des Herrn J. L. Bell beendet hatte, war in mir derselbe Vorsatz gereift, den Hr. R. Åkerman ausführte, nämlich die Wärmeverhältnisse in den einheimischen (den innerösterreichischen mit Holzkohlen betriebenen)

Eisenhohöfen nach Anleitung der Untersuchungen von Herrn J. L. Bell zu bearbeiten. In dieser bereits begonnenen Arbeit wurde ich jedoch dadurch unterbrochen, dass mir Herr Franz Kupelwieser, Professor der Hütten- und Probirkunde an der Leobner Bergakademie, im Beginn des Jahres 1871 gleichfalls den Anfang einer diesbezüglichen Arbeit zeigte.

Um Herrn Professor Kupelwieser in dieser seiner begonnenen Arbeit zu animiren und ihm einige Behelfe zur Vervollständigung derselben zu bieten, verschaffte ich ihm die Gelegenheit, meine im Jahre 1859 bei den Hohöfen in Eisenerz ausgeführten Untersuchungen*) in den Ferien von 1871 zu wiederholen, zu vervollständigen und zu berichtigen. Herr Kupelwieser wird daher, ich bin davon im voraus überzeugt, reichlichen Ersatz dafür bringen, dass ich mich von dieser interessanten Arbeit zurückgezogen habe.

Es liegt in der Natur des Gegenstandes, dass derselbe nicht sogleich in unzweifelhafter Vollendung bearbeitet vorgelegt werden konnte. Herr J. L. Bell ist noch fortwährend mit diesbezüglichen Untersuchungen beschäftigt und hat in seinen neuesten Publikationen „chemical Phenomena of the Blast Furnace“ Veranlassung gefunden, Einiges von seinen ersten Arbeiten zu berichtigen. Erst nach mehrseitigen Bearbeitungen und Klärungen kann über diesen interessanten und wichtigen Gegenstand der Eisenfabrikation die gewünschte nothwendige Einsicht und Sicherheit gewonnen werden.

Als ein wesentlicher Beitrag zu dieser Bearbeitung erschien mir die hier vorliegende, mit vielem Fleisse und mit Sachkenntniss verfasste Publikation des Herrn R. Åkerman. Da aber der schwedische Text nur wenigen deutschen Hüttenmännern zugänglich ist, hielt ich die Uebersetzungsarbeit für angezeigt und entschloss mich dieselbe selbst zu liefern, weil mir eine andere Kraft dafür nicht zur Ver-

---

*) Siehe das Berg- und hüttenmännische Jahrbuch IX. Bd., Wien 1860. Seite 281—319.

fügung steht. Um aber doch zu beweisen, dass ich bei der Uebersetzungsarbeit nicht ohne alles selbständige Nachdenken geblieben bin, erlaube ich mir zur richtigen Beurtheilung derselben einige Bemerkungen vorauszuschicken.

Ich glaube ohne Unbescheidenheit behaupten zu dürfen, dass ich der bis vor Kurzem herrschenden Theorie der ausschliesslichen Kohlensäurebildung im Gestelle, in der sogenannten Verbrennungs-Zone des Hohofens zuerst und, wie es jetzt scheint, mit Erfolg entgegen getreten bin. Um so mehr überraschend für mich ist es, dass ich mich derzeit wieder auf die entgegengesetzte Seite, d. i. in die Nothwendigkeit versetzt sehe, gegen die Annahme zu protestiren, dass im untersten Hohofentheil nur allein Kohlenoxyd und gar keine Kohlensäure vorhanden sei, wie die Herren Bell, Åkerman u. a. bei ihren Berechnungen annehmen, indem sie behaupten, dass die im ersten Momente gebildete Kohlensäure durch die umgebende weiss glühende Kohle sogleich und vollständig in Kohlenoxyd umgewandelt werde. Nicht minder verwahre ich mich aber auch gegen die Annahme, wie sie Herr Schinz bei seinen diesfallsigen Berechnungen angenommen hat, dass Kohlensäure und Kohlenoxyd zu gleichen Theilen gebildet werden.

Nach meiner Ueberzeugung giebt es im Hohofen, und was ich besonders betone, auch im Kupolofen keinen Querschnitt, in welchem nur allein Kohlenoxyd oder blos Kohlensäure zu treffen wäre, sondern stets sind diese beiden Gase, jedoch von verschiedenen Umständen abhängig, in sehr variirenden Verhältnissen vorhanden, und im allgemeinen nimmt in den obern Schachträumen des Hohofens, wie die Gasanalysen zeigen, die Menge der Kohlensäure zu, was vornämlich und mit Recht auf das Conto der beginnenden Reduktion der Eisenerze gesetzt wird.

Dieses sehr variirende Verhältniss zwischen Kohlensäure und Kohlenoxyd macht eine genaue Berechnung der im untern Raume erzeugten Temperatur ganz unmöglich, und nur in so fern, als die Berechnung der im ganzen

Schachtraume produzirten Temperatur auf eine verlässliche Bestimmung der Gichtgase und des aus der Beschickung und dem Brennmaterial entwickelten Antheiles derselben basirt, wie es Herr Bell gethan hat, kann ich dieser Berechnung eine Berechtigung zuerkennen. Die Bestimmung der Gichtgase durch Berechnung nach gewissen Annahmen ist theoretisch recht interessant, und auch viel weniger mühsam als eine verlässliche Ermittlung der durchschnittlichen Zusammensetzung der Gichtgase — allein aus den vorangeführten Ursachen kann sie nicht, viel Vertrauen erwecken. Den Fehler, welchen Herr Bell in der Eingangs genannten Broschüre begangen, und ich, als sein Uebersetzer, übersehen habe, nämlich dass bei der Reduktion von CO_2 durch C zu $2CO$ auf die durch Vergasung von C verwendete Wärme nicht Rücksicht genommen wurde, hat Herr Åkerman glücklich umgangen.

Bezüglich der Reduktion der Eisenerze hatte es, nach den ersten Untersuchungen und Experimenten des Herrn Bell, den Anschein, als ob meine am Hohofen durch Einsenken einer durchlochten mit Erzen gefüllten Kapsel gemachten Beobachtungen, und meine darauf gestützte Behauptung, dass die Reduktion nicht, wie angenommen wird, ganz über dem Kohlensacke gelegen sei, sondern thatsächlich bis in den Schmelzraum reiche, unrichtig wären; allein in seinen nenesten Untersuchungen (siehe chemical Phenomena Seite 225 u. 226) giebt Herr Bell zu, dass bei 17% der Erze, oder richtiger des Sauerstoffes der Erze, erst in einer der Schmelzhitze nahen Temperatur, und unter Bildung von Kohlenoxyd reduzirt werden. Desgleichen nimmt Herr Åkerman, nach Hr. Rinman's Untersuchungen an, dass durchschnittlich 12% (7—16%) der aufgegichteten Kohle zur Reduktion des Eisens verwendet werden, und konstatirt ausdrücklich, dass die Reduktion daselbst nicht früher, als vor der unmittelbaren Nähe der Formen abgeschlossen werde. Es wird daher jetzt allseitig zugestanden, dass es nicht zu vermeiden sei, dass ein Theil der Reduktion unter Bildung von Kohlenoxyd erfolge; allein wie gross dieser Antheil ist, hängt wieder von mehreren

Umständen ab, deren Einflussnahme ziffermässig sehr schwer nachzuweisen ist, und deshalb ist darin wieder ein Grund vorhanden, dass die Wärmeberechnungen derzeit noch nicht mit Genauigkeit durchgeführt werden können.

In verschiedener Weise wurde jene Kohlensäure verrechnet, welche aus der Beschickung, vornämlich aus dem Zuschlagskalkstein entwickelt wird. Während Herr Bell annimmt, dass die ganze Menge dieser Kohlensäure erst bei einer Temperatur ausgetrieben werde, in welcher dieselbe von der umgebenden Kohle in Kohlenoxyd umgewandelt wird, vernachlässigt Herr Åkerman diesen Einfluss in seiner Rechnung gänzlich, indem er behauptet, dass es nicht möglich sei anzugeben, wie viel von dieser Kohlensäure in Kohlenoxyd umgewandelt werde, und insoweit als dieses erfolge, sei es bereits in den angenommenen 12 % der aufgegichteten Kohle enthalten, welche als bei der Reduktion zu Kohlenoxyd verwandelt in Rechnung gestellt wurden. In dieser Beziehung möchte ich mich für die Verrechnungsmethode des Herrn Bell entscheiden, weil sie einerseits mehr Detail-Einsicht gewährt, was doch der Hauptzweck der ganzen Rechnung ist, und weil anderseits, wenn nicht das ganze Quantum, doch zweifellos der überwiegend grösste Theil dieser Kohlensäure thatsächlich in Kohlenoxyd umgewandelt wird. In Folge der von mir in 1859 abgeführten Versuche, erklärte ich schon damals (Berg- und hüttenmännisches Jahrbuch IX. Band, Seite 313), dass die aus dem ungerösteten Spatheisensteine im Hohofen ausgetriebene Kohlensäure, auf Kosten der umliegenden Holzkohle, beinahe vollständig in Kohlenoxyd umgewandelt werde. Was beim Spatheisenstein der Fall ist, muss um so mehr beim Kalkstein gelten, da die vollständige Zerlegung desselben eine etwas höhere Temperatur erfordert, als dies bei dem reinen Spatheisensteine der Fall ist.

Die zur Reduktion des Siliciums erforderliche Wärme, welche Herr Bell ganz vernachlässigte, hat Hr. Åkerman richtig in Rechnung gestellt. In der Rechnung für den schwedischen Hohofen entfallen dafür allerdings nur 14·3

Wärmeeinheiten, allein bei den englischen Hohöfen, wo ein Roheisen mit 2 % Silicium und darüher erblasen wird, steigt diese Ausgabe auf $14·3 \times 8 = 114·4$ Wärmeeinheiten und darüber. — Bezüglich des Wärmebedarfs zur Zerlegung des mit dem Winde in den Ofen geführten Wassergases, würde es im Rechnungsabschlusse mehr Einsicht gewähren, wenn derselbe, wie es Herr Bell gethan, als eigene Ausgabepost aufgeführt worden wäre, anstatt ihn gleich bei der Wärmeerzeugung durch die Verbrennung der Kohle mit dem Winde in Abzug zu bringen. Es dünkt mir dies um so wünschenswerther, weil dadurch der nachtheilige Einfluss des feuchten Windes mehr augenfällig gemacht wird. Die grösste Ausgabepost in der Rechnung des Herrn Åkerman, nämlich die mit den Gichtgasen abgeführte Wärme muss sowohl in Anbetracht der Qualität und Quantität der Gase, wie bezüglich der in Rechnung gestellten Wärme derselben, als eine mehr oder weniger fragliche Grösse erscheinen. Dasselbe muss von den Ausgabeposten durch die Abkühlung der Seitenwände und des Bodens, des Vorherdes und Tümpels, so wie des Kühlwassers bei den Formen bemerkt werden, wie wohl letztere Post durch direkte Ermittlung am Hohofen sehr einfach und sicher zu ermitteln wäre.

Wenn ungeachtet aller dieser schwankenden, nnd zum Theil entschieden um mehrere Procente unrichtig eingestellten Posten der Rechnungsabschluss dennoch auf 0·8% stimmt, so ist damit keine Bürgschaft für die Richtigkeit der einzelnen Posten, sondern nur der Beweis gegeben, dass die mehr oder weniger beliebig angenommenen einzelnen Posten im Ganzen gut gewählt worden sind. Dass die Summe der Ausgabeposten um mehr als 0·8% zu klein angegeben ist, dünkt mir zweifellos, weil die aus der Verbrennung der Kohle durch den Wind erzeugte Wärme nach meiner Ueberzeugung um mehrere Procente zu gering ist, da sie auf der alleinigen Kohlenoxydgasbildung basirt. Immerhin aber ist mit diesem gut stimmenden Rechnungsabschlusse, bei seiner übersichtlichen, deutlichen und leicht verständlichen Durchführung für den Hüttenmann ein sehr deutliches, wenn auch nicht ganz correctes Bild vom Hohofenprozess hinge-

stellt, und haben meine vorstehenden Bemerkungen nur den Zweck, darauf aufmerksam zu machen, dass den einzelnen Posten nicht mehr Sicherheit zugetraut werde, als sie wirklich verdienen.

Herr Åkerman geht nach vollbrachtem Rechnungsabschlusse nochmals die einzelnen Ausgabeposten im Detail durch, um sie für den praktischen Hüttenmann noch mehr zu verdeutlichen und für die Praxis nutzbringend zu machen. Auch in dieser Beziehung will ich mir einige Bemerkungen erlauben.

Von der Lürmann'schen Schlackenform kann nicht wohl gesagt werden, dass sie den Zweck habe, die Stichöffnung für die Schlacke vor dem Ausfressen zu bewahren, da hierbei eine Stichöffnung für die Schlacke gar nicht vorhanden, sondern mit dieser Vorrichtung ein kontinuirlicher Schlackenfluss eingerichtet ist. Richtiger soll es daher heissen, dass durch diese Einrichtung der Erweiterung des Auges, der Augöffnung, für die Schlacke vorgebeugt wird.

Sehr richtig bemerkt Herr Åkerman, dass bisher bei der Beurtheilung des Wärmegewinnes durch den erhitzten Wind der Umstand ausser Betracht gelassen wurde, dass die mit dem Winde in den Ofen gebrachte Wärme, zum Unterschiede der durch die Verbrennung von Kohle durch den Wind im Ofen produzirten Wärme, ohne alle Gasvermehrung erfolgt, welche letztere bei ihrem Entweichen an der Gicht auch wieder mehr Wärme dem Ofen entführt. Auf Seite 43 wird an einem speziellen Beispiele mit einer Windtemperatur von 205° nachgewiesen, dass während die unmittelbar mit dem erhitzten Winde in den Ofen gebrachte Wärme 10·2% von der ganzen dem Ofen zu Theil gewordenen Wärme beträgt, vermöge der verminderten Gasmenge noch weitere 5·67%, daher im Ganzen 15·87% betrage. Nachdem aber weiter auf Seite 50 aus dem Durchschnittsergebnisse von 5 Hohöfen des Norberger Bergdistriktes nachgewiesen erscheint, dass bei diesen Hohöfen, bei einer Winderhitzung von nur 160—200° und einer unbedeutenden Ver-

mehrung des Rauminhaltes, eine Brennmaterialersparung von 24·5 % erreicht worden ist, so liegt darin wohl der klare Beweis, dass auf die erlangte Brennmaterialersparung der erhitzte Wind noch in irgend einer andern Weise einen sehr wesentlichen Einfluss ausüben müsse. Dieser Einfluss ist in der lebhaftern Verbrennung gelegen, welche durch den erhitzten Wind unverkennbar erzielt wird, den Herr Åkerman zwar nicht in Abrede stellt, aber nicht in der Grösse gelten lassen will, wie er sich nach den von ihm selbst gelieferten Daten faktisch herausstellt.

Nach meiner Anschauung ist diese wesentliche Vermehrung des Einflusses des erhitzten Windes in dem Umstande zu suchen, dass hierbei im eigentlichen Schmelzraume des Hohofens, in welchem die höchste Temperatur benöthigt wird, thatsächlich eine bedeutend höhere Temperatur erzielt wird. Diese höhere Temperatur ist nicht allein eine Folge der mit dem erhitzten Winde zugleich in den Ofen gebrachten Wärme, sondern resultirt auch von der lebhaftern Verbrennung unter Bildung einer grössern Menge von Kohlensäure, welche nicht so augenblicklich und so vollkommen wieder in Kohlenoxyd umgewandelt wird, wie die Herren Bell und Åkerman anzunehmen scheinen. Es muss deshalb bei dem Gebrauche des erhitzten Windes in den Gichtgasen nicht nothwendig eine grössere Menge Kohlensäure nachgewiesen werden, genug wenn dieselbe im untersten Ofentheil vorhanden ist, wo vornämlich bei strengflüssiger Beschickung es schwer hält, die gewünschte Höhe der Temperatur zu erreichen, während die vorhergehende Reduktion und Kohlung keinem Anstande unterliegt. Einen Beweis, dass bei der Anwendung des erhitzten Windes wirklich die Wärme mehr in den untern Theilen des Ofens concentrirt werde, liefern in neuester Zeit die Hohöfen am Ural, indem dort die Einführung des erhitzten Windes bisher an der Unhaltbarkeit der untersten Schachtwände gescheitert ist, und auch andernorts der Gebrauch des hocherhitzten Windes nur durch die Anwendung entsprechender Wasserkühlungen im Gestelle und mitunter selbst in der Rast ermöglicht worden ist.

Was Herr Åkerman über den Einfluss des erhitzten Windes auf die Qualität des damit dargestellten Roheisens schreibt, halte ich für richtig; aber damit kann ich nicht einverstanden sein, dass für das zum Verpuddeln und Verfrischen bestimmte Roheisen eine höhere Windtemperatur als bisher nicht zweckmässig wäre. Allerdings würde durch die höhere Windtemperatur ein siliciumreicheres, für die Verfrischung weniger taugliches Roheisen erzeugt werden, wenn dem nicht gleichzeitig durch eine mehr basische Beschickung, allenfalls auch durch eine verminderte Windpressung, und nach Umständen durch eine weitere Zustellung vorgebeugt würde. Seit man in Steiermark und Kärnthen neuerlichst bei einer Windtemperatur von mehr als 500° ein ganz gutes, weisses bis halbirtes Roheisen erbläst, kann der diesbezüglich nöthige Beweis der Ausführbarkeit als erbracht angesehen werden. Wenn die höhere Windtemperatur unbeschadet der Roheisenqualität zulässig ist, dann erscheint es angezeigt, hieraus den grösstmöglichen Vortheil durch die Ersparung an Brennmaterial zu erzielen, wodurch die Benützung der Windtemperatur als Regulator des Hohofenganges grösstentheils entfällt.

Was Herr Åkerman über die Construction der verschiedenen Winderhitzungsapparate anführt, ist durchgehends sehr einfach und klar, und dürfte theilweise für den deutschen Hüttenmann nicht minder lehrreich als für den schwedischen sein.

Bezüglich des auf Tafel II gezeichneten Whitwellschen Winderhitzungs-Apparates kann ich bemerken, dass Herr Whitwell durch die Erfahrung geleitet neuerlichst dahin gelangt ist, die erste Abtheilung, in welcher die Verbrennung der Gase erfolgt, gegenüber den andern Abtheilungen noch bedeutend mehr zu erweitern, als aus der Zeichnung zu ersehen ist. Obgleich dadurch die Erhitzungsoberfläche um 1 bis 2 Abtheilungen vermindert wurde, hat sich die Windtemperatur dennoch ansehnlich gehoben, weil dadurch die Verbrennung der Gase vollständiger und seinerzeit das Verweilen des zu erhitzenden Windes im Apparate verlängert wird.

Mögen sich meine deutschen Berufsfreunde durch mein Vorwort, welches so zu sagen gegen meinen Willen zur Kritik geworden ist, an dem aufmerksamen Durchlesen der vorliegenden Arbeit des schwedischen Herrn Verfassers nicht beirren lassen. Dass ich diese Arbeit für sehr werthvoll und lehrreich halte, habe ich wohl dadurch am besten bewiesen, dass ich mich der Mühe des Uebersetzens unterzogen habe. Und möge uns Hr. Åkerman recht oft mit ähnlichen tüchtigen Arbeiten erfreuen!

Leoben, im November 1871.

P. Tunner.

Inhalts-Verzeichniss.

Seite

Die beim Hohofenprozess auf den Kohlenbedarf einwirkenden Umstände.

Seite

Fehler der gewöhnlichen Winderhitzungsapparate in Schweden.

Einleitung.

Eine der Hauptbedingungen für eine gute Haushaltung ist unbestritten eine klare und vollkommene Buchführung, welche in den betreffenden Konten alle die verschiedenen Ausgaben und Einnahmen aufnimmt und sogestaltet von jedem einzelnen Konto Debet und Credit ersichtlich macht. Wenn nicht jeder Zweig der Haushaltung sein eigenes Konto hat, so kann man aus dem Rechnungsschlusse blos ersehen, wie im Ganzen, nicht aber wie in jedem einzelnen Theile gewirthschaftet worden ist. Man bekommt mit andern Worten hierdurch keinen Fingerzeig auf jene Veränderungen, welche zur Erlangung eines besseren Resultates nothwendig sind, denn dazu ist erforderlich, dass man die Einsicht erlangt, welche Theile der ganzen Wirthschaft den kleinsten Gewinn geben und welches die am mindesten nothwendigen Ausgaben sind.

Wenn dies eine Wahrheit ist, so kann um so weniger bezweifelt werden, dass es für die Oekonomie des Hohofenbetriebes von grossem Nutzen sein muss, wenn eine Tabelle zusammengestellt wird, in welcher des verbrauchten Brennmateriales Debet und Credit ausgewiesen erscheint, aus der nicht allein ersichtlich ist, was mit dem verbrauchten Brennmateriale an Wärme produzirt wurde, sondern auch welcher Antheil am Brennmateriale für jeden einzelnen wärmeconsumirenden Theil des Hohofenprozesses erforderlich ist. Mit Zuhilfenahme eines derartigen Rechnungsabschlusses über die im Hohofen vor sich gehenden Erzeugungen und Verwen-

dungen der Wärme kann man sonach beurtheilen, welcher Wärmebedarf der am wenigsten nothwendige ist, und mit welchen Hilfsmitteln derselbe am wahrscheinlichsten ermässigt werden kann. Eine derartige Zusammenstellung muss daher das sicherste Anhalten zur Beurtheilung der Bedingung gewähren, auf welcher der Brennstoffverbrauch im Hohofenprozess in letzter Linie beruht.

Eine derartige Zusammenstellung kann natürlich nicht mit allgemeiner Giltigkeit für alle Hohöfen gemacht werden, sondern es lässt sich nur zeigen, wie das Brennmaterial unter gewissen gegebenen Verhältnissen im Hohofen verwendet wird; allein in demselben Grade, als die für einen gewissen Hohofen eigenthümlichen Verhältnisse sich von denen des der Rechnung zu Grunde gelegten weniger unterscheiden, im gleichen Grade müssen die sich aus der Rechnung ergebenden Anhaltspunkte auch für den erstern anwendbar sein. Da die schwedischen Hohöfen, welche mit den sogenannten Bergerzen (Magneteisenstein und Eisenglanz) und mit Holzkohlen betrieben werden, in der Mehrzahl unter sehr übereinstimmenden Verhältnissen arbeiten, so hat sich der Verfasser zur Aufgabe gestellt, mit zu Grundelegung eines der Mehrzahl möglichst entsprechenden Normal-Hohofens und mit Benutzung der bisher bekannt gewordenen Untersuchungen, einen Wärmebuchschluss durchzuführen.

Wie allgemein bekannt ist, gelangt man zu einem Buchschluss nicht ohne Zuhilfenahme mehr oder minder ermüdender Ziffern, was auch im vorliegenden Falle zutrifft, weshalb der Verfasser soviel als möglich versuchen will, diesen Buchschluss sogestaltet zusammen zu stellen, dass jene, welche kein Interesse an einer detaillirten Untersuchung haben, von den für die Praxis wichtigsten Schlussziffern leicht Einsicht nehmen können, ohne nöthig zu haben, sich in die Ableitung derselben zu vertiefen. Aber andererseits erachtet der Verfasser sich als verpflichtet, in eine detaillirte Rechenschaftsgabe einzugehen, damit jede Controle dieser Rechnung möglichst leicht durchführbar wird.

Da dieser Aufsatz nicht blos für solche Personen berechnet ist, welche mit den Naturwissenschaften mehr ver-

traut sind, sondern im Gegentheil hauptsächlich die Männer der Praxis dabei ins Auge gefasst werden, so ist vorerst, gleichsam als Einleitung, die Mittheilung jener Hauptsätze der Physik nothwendig, auf welche die folgenden Berechnungen gegründet sind.

---

§ 1. Vor allem ist zu erinnern, dass bei der Vereinigung zweier Körper durch eine chemische Verbindung gewöhnlich eine Wärmeentwicklung vor sich geht, und dass die solcher Gestalt entwickelte Wärme, mit Beziehung auf den in Frage gezogenen Körper in seinem Verhalten zum andern mit ihm in Verbindung getretenen, kalorische Wärme genannt wird. Zum Messen dieser Wärmemenge bedient man sich als Wärmeeinheit jener Wärmemenge, welche im Stande ist eine Gewichtseinheit Wasser (1 Pfd.) um 1 Grad Cels. zu erhöhen. Wenn man daher sagt, dass der kalorische Wärmeeffekt des Kohlenstoffes bei seiner Verbrennung zu Kohlensäure pr. Gewichtseinheit Kohlenstoff 8080 Wärmeeinheiten betrage, so versteht man darunter, dass bei der Verbrennung einer Gewichtseinheit (1 Pfd.) Kohlenstoff zu Kohlensäure so viel Wärme entwickelt wird, dass damit 1 Pfd. Wasser auf 8080° erhitzt, oder was dasselbe ist, dass 8080 Pfd. Wasser damit um 1° Cels. höher erwärmt werden könnten. Nachdem beim Verbrennen von 1 Pfd. Kohlenstoff (C) zu Kohlensäure ($\ddot{C}$) sich 16 : 6 = 2·6667 Pfd. Sauerstoff damit vereinen, so kann man ebensogut, wie man von des Kohlenstoffes kalometrischem Wärmeeffekt pr. Gewichtseinheit spricht, auch von dem kalorimetrischen Wärmeeffekt pr. Gewichtseinheit Sauerstoff sprechen, womit man, unter Festhalten der Verbrennung zu Kohlensäure, nicht wie im vorhergehenden Falle die Wärmemenge versteht, welche bei der Verbrennung von 1 Pfd. Kohlenstoff mit 2·6667 Pfund Sauerstoff zu Kohlensäure gebildet wird, sondern jene Menge, welche erzeugt wird, wenn 6 : 16 = 0·375 Pfd. Kohlenstoff mit 1 Pfd. Sauerstoff sich zu Kohlensäure vereinigt. Des Kohlenstoffes kalometrischer Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlensäure pr. Gewichtseinheit Sauerstoff beträgt daher 0·375 × 8080 = 3030 Wärmeeinheiten.

Bekanntlich kann in der Regel ein Körper mit einem andern mehrere ungleiche chemische Verbindungen eingehen, was namentlich auch bei dem Kohlenstoff zutrifft. Dieser verbindet sich mit dem Sauerstoff nicht allein zu Kohlensäure ($\ddot{C}$), in welcher 1 Aequivalent (6 Gewichtseinheiten) Kohlenstoff sich mit 2 Aequivalenten (16 Gewichtstheilen) Sauerstoff vereinigt, sondern auch zu Kohlenoxyd ($\dot{C}$), in welcher Verbindung 1 Aequivalent (6 Gewichtseinheiten) Kohlenstoff mit 1 Aequivalent (8 Gewichtseinheiten) Sauerstoff verbunden ist. Für diese ungleichen Oxydationsstufen ist der kalorimetrische Wärmeeffekt des Kohlenstoffs pr. Gewichtseinheit im hohen Grade ungleich, so zwar, dass während der Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlensäure, wie bereits angegeben auf 8080 Wärmeeinheiten sich beläuft, derselbe bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd nur 2473 Wärmeeinheiten beträgt. In demselben Ausmasse jedoch, in welchem einerseits des Kohlenstoffs Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd klein ist, zeigt sich andererseits des Kohlenoxydes kalometrischer Wärmeeffekt bei dessen Verbrennung zu Kohlensäure gross, weshalb stets dieselbe Wärmemenge entwickelt wird, wenn ein bestimmtes Gewicht Kohlenstoff vorerst zu Kohlenoxyd und dieses sodann zu Kohlensäure, oder wenn dieselbe Menge Kohlenstoff unmittelbar zu Kohlensäure verbrannt wird. Bei der Verbrennung von 1 Pfd. Kohlenstoff zu Kohlenoxyd ($\dot{C}$) werden 2473 Wärmeeinheiten erzeugt, und dabei $(6+8) : 6 = 2{\cdot}3333$ Pfd. Kohlenoxyd gebildet, und nachdem der kalorimetrische Wärmeeffekt des Kohlenoxydes bei seiner Verbrennung zu Kohlensäure pr. Gewichtseinheit 2403 Wärmeeinheiten beträgt, so muss bei der Verbrennung von 2·3333 Pfd. Kohlenoxyd eine Wärmemenge von $2{\cdot}3333 \times 2403 = 5607$ Wärmeeinheiten produzirt werden, was mit den vorerst erzeugten 2473 zusammen 8080 Wärmeeinheiten, mithin die gleiche Wärmemenge giebt, welche bei der direkten Verbrennung von 1 Pfd. Kohlenstoff zu Kohlensäure erhalten wird.

Die kalorimetrischen Wärmeeffekte der verschiedenen Körper sind meistens durch direkte Versuche ermittelt worden; dagegen nimmt man als unbestrittenen Grundsatz

an, dass bei der Zerlegung einer chemischen Verbindung zweier Körper ebensoviel Wärme gebunden oder verbraucht wird, als bei ihrer Verbindung entwickelt worden ist. Werden daher $(6+16):6 = 3{\cdot}6667$ Pfd. Kohlensäure in 1 Pfd. Kohlenstoff und 2·6667 Sauerstoff zerlegt, so müssen 8080 Wärmeeinheiten aufgenommen werden, oder es muss mit anderen Worten eine Abkühlung entsprechend 8080 Wärmeeinheiten eintreten. Aus diesem Grundsatze und dem vorhin angeführten Verhalten, dass die gleiche Wärmemenge entwickelt wird, wenn eine bestimmte Menge Kohlenstoff unmittelbar zu Kohlensäure, oder vorerst zu Kohlenoxyd und dieses sofort zu Kohlensäure verbrannt wird, folgt weiter nothwendig auch, dass wenn 1 Pfd. Kohlenstoff vorerst zu Kohlensäure ($\ddot{C}$) verbrannt, und diese durch Berührung mit hellglühenden Kohlen sodann wieder zu Kohlenoxyd ($\dot{C}$) reduzirt und dabei 1 Pfd. Kohlenstoff aufgenommen wird ($\ddot{C} + C = 2\dot{C}$), der schliessliche Unterschied zwischen der hierbei erzeugten und verbrauchten Wärmemenge gleich jener Menge sein muss, welche erhalten würde, wenn von vornherein 2 Pfd. Kohlenstoff zu Kohlenoxyd verbrannt worden wären.

§ 2. Von grösster Wichtigkeit ist die genaue Unterscheidung zwischen Wärmemenge, welche durch die Anzahl der Wärmeeinheiten ausgedrückt wird, und der Temperatur (Wärme-Intensität), oder der messbaren Wärme, welche ein Körper besitzt. Wenn z. B. ein Gefäss 10 Pfd. Wasser von einer bestimmten Temperatur, sage 15°, enthält, so besitzt dieses Wasser 150 Wärmeeinheiten über den Gefrierpunkt; werden von diesem Wasser 2 Pfd. ausgegossen, so hat das im Gefässe zurückgebliebene Wasser immer noch dieselbe Temperatur, aber besitzt nur noch 120 Wärmeeinheiten, indem 30 Wärmeeinheiten mit dem ausgegossenen Wasser entfernt worden sind. Ein und desselben Körpers Temperatur oder messbare Wärmegrad beruht zunächst nicht allein auf der demselben mitgetheilten Wärmemenge, mit welcher sie im direkten Verhältnisse steht, sondern hängt zugleich von des fraglichen Körpers Menge oder Gewicht ab, mit welchem die verlangte Temperatur im umgekehrten Verhältnisse steht.

§ 3. Aber selbst dann, wenn gleiche Wärmemengen (gleich viele Wärmeeinheiten) gleich grossen Gewichten zweier verschiedener Körper mitgetheilt werden, erlangen diese nicht dieselbe Temperaturzunahme, wovon die Ursache in dem Umstande liegt, dass verschiedene Körper eine ungleiche spezifische Wärme haben. Unter der spezifischen Wärme versteht man nämlich jene Zahl der Wärmeeinheiten, welcher der Gewichtseinheit (1 Pfd.) eines fraglichen Körpers mitgetheilt werden muss, um die Temperatur desselben um 1° zu erhöhen. Aus der vorstehend angegebenen Definition von der Wärmeeinheit folgt sonach, dass die spezifische Wärme des Wassers gleich 1 ist; wenn dagegen 1 Pfd. eines andern Körpers zur Erhöhung seiner Temperatur um 1° zwei Wärmeeinheiten erfordert, so ist dessen spezifische Wärme = 2. Unter der Angabe, dass die spezifische Wärme des Sauerstoffs = 0·2182 sei, ist demnach zu verstehen, dass nicht mehr oder weniger als 0·2182 Wärmeeinheiten erforderlich sind, um 1 Pfd. Sauerstoff in seiner Temperatur um 1° zu erhöhen. Aus allem dem ist schliesslich ohne weitere Begründung leicht einzusehen, dass zur richtigen Beurtheilung der Wärmemenge eines Körpers nicht allein dessen Temperatur, sondern auch sein Gewicht, wie seine spezifische Wärme bekannt sein muss, und dass sich die einem fraglichen Körper mitgetheilte Wärmemenge durch das Produkt aus diesen 3 Zahlen ergiebt.

§ 4. Endlich soll noch bemerkt werden, dass man unter Schmelzungswärme jene Anzahl von Wärmeeinheiten versteht, welche bei der Ueberführung eines festen Körpers in den flüssigen Zustand, ohne eine dadurch verursachte Temperaturerhöhung, pr. Gewichtseinheit des in Frage stehenden Körpers aufgenommen werden. In gleicher Weise wird mit Verdampfungs- oder Vergasungswärme jene Wärmemenge bezeichnet, welche bei der Vergasung eines flüssigen Körpers ohne Temperaturerhöhung, pr. Gewichtseinheit des fraglichen (flüssigen) Körpers gebunden wird.

§ 5. Zum richtigen Verständniss der im Nachfolgenden aufgestellten Wärmeberechnung beim Hohofenprozess ist

weiter noch erforderlich, sich darüber klar zu sein, wie die Reduktion der Eisenerze durchgeführt und bei diesen Berechnungen zu Grunde gelegt wird.

Das Eisenerz kann sowohl durch Kohlenoxyd, welches dadurch zu Kohlensäure oxydirt wird, wie durch Berührung mit Kohle, welche dadurch zu Kohlenoxyd verbrannt wird, reduzirt werden, und zur richtigen Beurtheilung des Hohofenprozesses ist es eine wichtige Frage, ob die dabei im voraus vorhandene Wärmemenge bei diesen verschiedenen Reduktionsarten vermehrt oder vermindert wird. Unter der Annahme, dass bei der Trennung einer chemischen Verbindung eben so viel Wärme gebunden, als bei der Verbindung entwickelt werde, muss zugestanden werden, dass bei der Reduktion des Eisenerzes so viel Wärme gebunden, als bei der Verbrennung des Eisens mit einer gleichen Menge Sauerstoff erzeugt wird; und sonach beschränkt sich die gestellte Frage auf die Ermittelung, ob das Eisen bei seiner Verbrennung mit einer bestimmten Menge Sauerstoff mehr oder weniger Wärme erzeugt, als auf der einen Seite beim Verbrennen des Kohlenoxydes mit der gleichen Menge Sauerstoff, und auf der andern beim Verbrennen des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd mit demselben Quantum Sauerstoff produzirt wird.

Zur Beantwortung dieser Frage ist demnach nothwendig, die kalorimetrischen Wärmeeffekte der hierbei betroffenen Körper pr. Gewichtseinheit des Sauerstoffes zu kennen. Dieser kalorimetrische Wärmeeffekt für das Eisen ist: nach Dulong 4327, nach Woods 4213, und nach Andrews 4134 Wärmeeinheiten. Nachdem hier nicht zu entscheiden ist, welche von diesen ermittelten Zahlen die richtige ist, soll bei den nachstehenden Berechnungen die Zahl von 4205 Wärmeeinheiten zu Grunde gelegt werden.

Untersucht man nun, wie gross des Kohlenstoffs kalorimetrischer Wärmeeffekt sich pr. Gewichtseinheit des zur Verbrennung zu Kohlenoxyd verwendeten Sauerstoffes stellt, so ergiebt sich: Nach dem Vorausgeschickten ist, der Wärmeeffekt des Kohlenstoffes bei seiner Verbrennung zu Kohlenoxyd pr. Gewichtseinheit Kohlenstoff 2473 Wärmeeinheiten, und da hierbei 1 Aequivalent (6 Gewichtseinheiten) Kohlenstoff sich mit 1 Aequivalent (8 Gewichtstheilen) Sauerstoff

verbindet, so ist der kalorimetrische Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd pr. Gewichtseinheit des hierbei verwendeten Sauerstoffes 2473×6 : 8 = 1854·75 Wärmeeinheiten.

Bei einem gleichen Vorgange bezüglich des kalorimetrischen Wärmeeffekts vom Kohlenoxyd bei der Verbrennung zu Kohlensäure ergiebt sich pr. Gewichtseinheit des hierbei verwendeten Sauerstoffes der Werth von 4205·25 Wärmeeinheiten. Denn, bei der Verbrennung vereinigen sich 1 Aequivalent (6 + 8 = 14 Gewichtseinheiten) Kohlenoxyd mit 1 Aequivalent (8 Gewichtseinheiten) Sauerstoff, und nachdem der Wärmeeffekt pr. Gewichtseinheit des Kohlenoxydes zu 2403 angegeben wurde, so erhält man 2403×14 : 8 = 4205·25.

Die Zahlen, durch welche die bei der Reduktion der Eisenerze mit Kohlenoxyd und mit Kohlenstoff vorkommenden Wärmeverhältnisse bestimmt werden, sind demnach folgende:

des Kohlenstoffs kalorimetrischer Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd beträgt pr. Gewichtseinheit des Sauerstoffes	1855 W.-E.
des Kohlenoxydes kalorimetrischer Wärmeeffekt bei der Verbrennung zu Kohlensäure beträgt pr. Gewichtseinheit des Sauerstoffes	4205 „
des Eisens kalorimetrischer Wärmeeffekt pr. Gewichtseinheit Sauerstoff beträgt .	4205 „

Nachdem der kalorimetische Wärmeeffekt des Kohlenoxydes und des Eisens pr. Gewichtseinheit Sauerstoff sich als ganz gleich darstellen, so folgt daraus, dass bei der Reduktion der Eisenerze durch Kohlenoxyd eben so viel Wärme durch die Bildung von Kohlensäure produzirt, als durch die Reduktion der Eisenerze consumirt wird, und dass sonach hierdurch die im voraus vorhandene Wärme weder vermehrt noch vermindert werde. Dagegen zeigt die Vergleichung zwischen den kalorimetrischen Wärmeeffekten des Kohlenstoffes und des Eisens pr. Gewichtseinheit des Sauerstoffes, dass die Reduktion der Eisenerze durch die

Oxydation des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd nicht ohne bedeutenden Verbrauch oder Verminderung an Wärme vor sich gehen kann; denn für jede Gewichtseinheit Sauerstoff, welche auf diese Weise von den Erzen auf den Kohlenstoff überführt wird, werden 4205 — 1855 = 2350 Wärmeeinheiten gebunden.

Hiermit dürfte zugleich ausser Zweifel gestellt sein, dass auch im Falle, als man nicht zugeben wollte, dass die Reduktion der Eisenerze in der angenommenen Art und Weise mit dem Kohlenstoff vor sich gehe (dass nämlich nicht der Sauerstoff der Erze sich unmittelbar mit dem Kohlenstoff zu Kohlenoxyd vereinigen könne, sondern dass die Reduktion der Eisenerze nur durch Verbrennung von Kohlenoxyd zu Kohlensäure bewerkstelligt, diese letztere sonach jedoch durch Aufnahme von Kohlenstoff wieder zu Kohlenoxyd reduzirt werde), in Beziehung auf den hierbei erforderlichen Wärmebedarf nicht der geringste Einfluss ausgeübt werden kann. Denn, so lange die Schlussprodukte aus Eisen und Kohlenoxyd bestehen, wird immer dieselbe Wärmemenge, d. i. 2350 Wärmeeinheiten erforderlich sein, um 1 Gewichtseinheit Sauerstoff von den Eisenerzen zum Kohlenstoff überzuführen. Um die Richtigkeit hiervon deutlich einzusehen, ist nur nothwendig, sich zu erinnern, dass die kalorimetrischen Wärmeeffekte pr. Gewichtseinheit Sauerstoff für Eisen und Kohlenoxyd gleich sind, und dass in Folge davon, bezüglich des Verhaltens der Wärme es vollständig gleichgiltig sein muss, ob durch die Oxydation des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd ein und dieselbe Menge Sauerstoff entweder unmittelbar von dem oxydirten Eisen (den Eisenerzen) oder durch Reduktion von dem ohne Wärmeveränderung verbrannten Kohlenoxyde (der Kohlensäure) entnommen wird.

§ 6. Schliesslich sollen auch noch einige Worte über die Art und Weise beigefügt werden, wie die Verbrennung des Kohlenstoffes durch die Gebläseluft im Hohofen vor sich geht. Hierüber angestellte Untersuchungen haben gezeigt, dass die den Formen zunächst befindlichen Kohlen zwar zu Kohlensäure verbrennen, dass diese Verbrennung aber auf einen relativ sehr kleinen Raum vor jeder Form,

dem sogenannten Verbrennungs-Fokus, beschränkt ist, und dass die solchergestalt gebildete Kohlensäure in Berührung mit den umgebenden Kohlen diese zu Kohlenoxyd verbrennt und dadurch selbst zu Kohlenoxyd reduzirt wird $(\ddot{C}+C = 2\dot{C})$. In Folge des hohen Wärmeeffektes der Kohle bei ihrer Verbrennung zu Kohlensäure ist die Temperatur in dem Fokus vor jeder Form zwar eine sehr hohe, allein ausserhalb derselben nimmt die Temperatur durch die Reduktion der Kohlensäure sehr rasch wieder ab. Die Folge davon ist, dass die Temperatur in den verschiedenen Theilen des Hohofengestelles eine sehr ungleiche ist. Auf diese Ungleichheit in der Vertheilung ist die Wirkung des höheren und niederen Oxydationsgrades beschränkt; denn der Unterschied zwischen der vorerst durch die Kohlensäure- und dann wieder durch die Kohlenoxyd-Bildung erzeugten und theilweise wieder verbrauchten Wärmemenge ist, wie bereits gezeigt wurde, schliesslich ganz gleich mit jenem Wärmequantum, welches erzeugt worden wäre, wenn die Kohlen gleich vor den Formen durch den Sauerstoff des Windes, also unmittelbar nur zu Kohlenoxyd verbrannt worden wären.

§ 7. Um die folgenden Wärmeberechnungen möglichst angepasst den Verhältnissen der schwedischen Hohöfen zu erhalten, hat der Verfasser die dafür nöthigen Annahmen in Uebereinstimmung mit den obwaltenden Verhältnissen der besser betriebenen Hohöfen in Schweden zu bringen gesucht.

Demgemäss wird ein Hohofen zu Grunde gelegt, welcher 42 Fuss hoch ist, mit zwei Formen von je 25 Linien innerem Durchmesser bläst, und wird angenommen, dass der Kohlensatz 6 Tonnen (bei 40 Kubik-Fuss) Holzkohlen, oder dem Gewichte nach, 360 Pfd., oder 60 Pfd. pr. Tonne Kohlen betrage. Die Holzkohle besteht aus:

82% Kohlenstoff,
2 „ Asche,
10 „ Wasser und
6 „ bei hoher Temperatur austreibbarer anderer Gase, welche in Uebereinstimmung mit den Untersuchungen von Rinman und Fernqvist bestehen dem Gewichte nach aus:

55·9% Kohlensäure,
22·8 „ Kohlenoxyd,
11·8 „ Sumpfgas,
1·0 „ Wasserstoff und
8·5 „ Stickstoff.

Jede Tonne der aufgegichteten Holzkohle enthält somit 60 × ·82 = 49·2 Pfd. Kohlenstoff. Im übrigen wird angenommen, dass auf einen derartigen Kohlensatz eine Beschickung von 8 Ctr., oder 1·3333 Ctr. pr. Tonne Kohlen entfalle, dass der Hohofen wöchentlich 1600 Ctr. Roheisen liefere, dass in der Beschickung 15% kohlensaurer Kalk enthalten sei, und dass die Erze aus gleichen Mengen von Eisenoxyd und Eisenoxyd-Oxydul, oder Fe^5O^7 bestehen. Weiter wird angenommen, dass die ganze Beschickung 45% Ausbringen an Roheisen und 35% Schlacke gebe, wonach der Brennstoffbedarf pr. Ctr. des erhaltenen Roheisens sich auf 1·6667 Tonnen berechnet und für jeden Centner aufgegichteter Holzkohlen wird 1 : 0·6 × 1·6667 = 1 Ctr. Roheisen nebst 0·7778 Ctr. Schlacke erhalten. Das dargestellte Roheisen mag 4·2% Kohlenstoff und 0·25% Silicium enthalten.

Ferner wird (entsprechend der mittleren Temperatur in Schweden) angenommen eine äussere Lufttemperatur von 5°, und die Temperatur des (erhitzten) Windes höher um 200°, bei einer Pressung von 17 Linien Quecksilbersäule, und dem der äusseren Temperatur und Barometerstand entsprechenden Gehalte an Wasser, wonach die Zusammensetzung der Gebläseluft dem Gewichte nach anzunehmen ist mit:

23·04	Sauerstoff	oder	23·54	Sauerstoff,
0·56	Wasser	„	0·06	Wasserstoff,
76·40	Stickstoff	„	76·40	Stickstoff.

Schliesslich soll die Temperatur der abziehenden Hohofengase mit einer durchschnittlichen Temperatur von 450° angenommen werden, welches nicht zu hoch sein dürfte, da die aufgegichteten Materialien hier als ganz trocken vorausgesetzt werden, und die aufsteigenden Gase, besonders in den obersten Theilen des Schachtes, bedeutend wärmer sind, als die abwärts sinkenden, im Vorwärmen begriffenen

Schmelzmaterialien, und wobei noch zu berücksichtigen kommt, dass bei der Mehrzahl schwedischer Hohöfen die Gase zum grössern Theil, in bedeutender Tiefe unter der Gichtmündung, behufs ihrer anderweitigen Verwendung abgezogen werden und zwar mit einer beträchtlich höhern Temperatur von circa 800°.

§ 8. Bevor in die eigentliche Berechnung eingegangen werden kann, müssen noch einige dabei erforderliche Zifferangaben vorausgeschickt werden.

Die kalorimetrischen Wärmeeffekte pr. Gewichtseinheit des mit Sauerstoff sich vereinigenden Körpers werden hier angenommen, wie folgt:

für Kohlenstoff bei Verbrennung zu Kohlensäure	8,080	Wärmeeinheiten.
für Kohlenstoff bei Verbrennung zu Kohlenoxyd	2,473	„
für Kohlenoxyd bei Verbrennung zu Kohlensäure	2,403	„
für Wasserstoff bei Verbrennung zu Wasser	29,638*)	„
für Silicium bei Verbrennung zu Kieselsäure	7,830	„

Der kalorimetrische Wärmeeffekt pr. Gewichtseinheit kaustischen Kalkes bei seiner Vereinigung mit Kohlensäure wird nach Schinz zu 197·1 Wärmeeinheiten angenommen.

Die bei der Reduktion der Eisenerze durch die Oxydation des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd verbrauchte Wärmemenge ist nach dem Vorhergehenden pr. Gewichtseinheit Sauerstoff zu 2,350 Wärmeeinheiten, daher pr. Gewichtseinheit Kohlenstoff zu $2{,}350 \times 8 : 6 = 3{,}133{\cdot}3$ Wärmeeinheiten anzunehmen. Entgegen bei der Reduktion der Eisen-

*) Der kalorimetrische Wärmeeffekt des Wasserstoffes wird zwar gewöhnlich zu 34,462 Wärmeeinheiten angenommen, allein davon muss bei Berechnungen, wie die folgenden sind, des gebildeten Wassers Condensations- oder Verdunstungswärme ($9 \times 536 = 4{,}824$ Wärmeeinheiten) wieder bagezogen werden.

erze durch die Oxydation des Kohlenoxydes zu Kohlensäure findet, wie gezeigt wurde, eine Wärmeveränderung nicht statt.

Des Sauerstoffes	spec.	Wärme	bei	konstantem	Drucke	ist	0·2182.
„ Stickstoffes	„	„	„	„	„	„	0·2440.
„ Wasserstoffes	„	„	„	„	„	„	3·4046.
„ Wasserdampfes	„	„	„	„	„	„	0·4750.
„ Kohlenoxydes	„	„	„	„	„	„	0·2479.
Der Kohlensäure	„	„	„	„	„	„	0·2164.
Des Sumpfgases	„	„	„	„	„	„	0·5929.

Des Eises Schmelzungswärme beträgt 79 Wärmeeinheiten und die Verdunstungswärme des Wassers 536 Wärmeeinheiten.

Des Wasserstoffes	Aequivalent	beträgt	H	= 1.
„ Kohlenstoffes	„	„	C	= 6.
„ Sauerstoffes	„	„	O	= 8.
„ Calciums	„	„	Ca	= 20.
„ Siliciums	„	„	Si	= 21.
„ Eisens	„	„	Fe	= 28.

Zum Ausgangspunkte der Berechnungen soll die Gewichtseinheit, 1 Pfd., der aufgegichteten Holzkohle, genommen werden, daher sowohl die Erzeugung als der Verbrauch der Wärme schliesslich stets auf 1 Pfd. der im Hohofen verbrauchten Kohle zurückgeführt werden wird.

Von dem in der verwendeten Holzkohle befindlichen reinen Kohlenstoff werden von dem Roheisen 4·2 × 100 : 82 = 5·122 % gebunden, und wenn nach Rinman's Untersuchungen*) angenommen wird, dass 12 % von dem in der Holzkohle befindlichen Kohlenstoff zur Reduktion verbraucht werden, so verbleiben von jedem Pfd. der aufgegichteten Holzkohle blos 0·82 — (17·122 × 82 : 100) = 0·6796 Pfd. Kohle zur Verbrennung durch die Gebläseluft.

Zur Verbrennung dieser Kohlenmenge zu Kohlenoxyd, welches nach dem Vorhergehenden das Schlussprodukt des durch die Gebläseluft verbrannten Kohlenstoffes bildet, sind

*) Siehe Jern-Kontorets Annaler von 1865.

an Sauerstoff der Luft erforderlich 0·6796 × 8 : 6 = 0·90613 Pfd., welche Sauerstoffmenge in 0·9613 : 0·2354 = 3·84933 Pfd. Luft enthalten ist, und nach der vorstehend angenommenen Zusammensetzung der Luft enthält dieses Quantum 2·94089 Pfd. Stickstoff und 0·00231 Pfd. Wasserstoff. Von der genannten Menge Sauerstoff kommen jedoch nur 0·88688 Pfd. im freien Zustande in der Luft vor, indem der Rest von 0·01925 Pfd. mit Wasserstoff zu 0·02156 Pfd. Wasser verbunden darin enthalten ist.

§ 9. Mit der in Frage stehenden Kohlenstoffmenge von 0·6796 Pfd. werden durch die Verbrennung zu Kohlenoxyd erzeugt 0·6796 × 2,473 = 1,680·6 Wärmeeinheiten, wogegen durch die Zerlegung des von der Gebläseluft mitgebrachten Wasserdunstes in Wasserstoff und Sauerstoff eine Wärmeverminderung von 0·00231 × 29,638 = 68·5 Wärmeeinheiten bewirkt wird, so dass pr. Pfd. Holzkohle bei ihrer Verbrennung durch den Wind thatsächlich nur 1,68·06 — 68·5 = **1,612·1** Wärmeeinheiten erzeugt werden.

§ 10. Mit der Gebläseluft, welche nach der gemachten Annahme um 200° wärmer ist, als die äussere Luft, wird ausserdem eine Wärmemenge zugeführt von:

$$(0{\cdot}88688 \times 0{\cdot}2182 + 2{\cdot}94089 \times 0{\cdot}2440 + 0{\cdot}02156 \times 0{\cdot}4750)\,200 = \mathbf{184{\cdot}2}$$

Wärmeeinheiten*) pr. Pfd. der aufgegichteten Kohle.

Für jedes Pfund der im Hohofen verbrauchten Holzkohle ist somit in Summa eine Wärmemenge von 1,612·1 + 184·2 = **1,796·3** Wärmeeinheiten erzeugt worden.

§ 11. Mit jedem Pfunde des aufgegichteten Brennmateriales ist nach den vorgesetzten Annahmen 1 Pfd. Roheisen und 0·7778 Pfd. Schlacke erhalten worden. Wird demnach entsprechend Rinman's Untersuchungen**) angenommen, dass das aus dem Hohofen fliessende Roheisen 310 und die

*) Diese Rechnung ist in so fern nicht ganz richtig, als auf die veränderte spezifische Wärme der Gase keine Rücksicht genommen wurde, welche durch die veränderte Pressung des Windes bei seinem Ausströmen aus den Düsen bewirkt wird.

**) Uebersicht der königl. Akademie der Wissenschaften, Abhandlungen von 1865, Seite 327.

Schlacke 440 Wärmeeinheiten mitführt, so ist zur Erwärmung und Schmelzung dieser beiden Produkte eine Wärmemenge von 310 + 0·7778 × 440 = **652·2** Wärmeeinheiten pr. Pfd. der verbrauchten Holzkohlen konsumirt worden.

§ 12. Das erhaltene Roheisen hat nach Annahme 0·25% Silicium, welches aus der Kieselsäure führenden Beschickung dergestalt ausreduzirt werden musste, dass sich deren Sauerstoff mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd vereinigte. Nachdem pr. Pfd. der verbrauchten Holzkohle 0·0025 Pfd. Silicium ausreduzirt wurden, so sind hierzu 0·0025 × 7830 = 19·6 Wärmeeinheiten verbraucht worden. Dagegen sind aber für jedes Aequivalent ausreduzirten Siliciums 3 Aequivalente, oder 0·0025 × 3 × 6 : 24 = 0·00214 Pfd. Kohlenstoff zu Kohlenoxyd verbrannt worden, wodurch 0·00214 × 2473 = 5·3 Wärmeeinheiten erzeugt wurden, daher durch die Reduktion des Siliciums mit Kohlenstoff in Wirklichkeit, pr. Pfd. der aufgegichteten Kohle nur 19·6 — 5·3 = **14·3** Wärmeeinheiten gebunden worden sind.

§ 13. In Betreff der Reduktion der Eisenerze ist bereits gezeigt worden, dass durch jenen Theil, welcher die Oxydation des Kohlenoxydes zu Kohlensäure bewirkt, weder eine Erzeugung, noch ein Verbrauch von Wärme die Folge ist; es kommt hier sonach blos jener Theil in Betracht zu nehmen, welcher durch den Kohlenstoff bewirkt wird. Zur Reduktion im Ganzen ist im Vorhergehenden bereits 12% des im Brennmaterial befindlichen freien Kohlenstoffes als die diesbezügliche Grösse angenommen worden, oder pr. Pfd. der aufgegichteten Holzkohlen 0·82 × 0·12 = 0·0984 Pfd.; hiervon ist demnach die zur Reduktion des Siliciums sonderheitlich berechnete Menge von 0·00214 Pfd. in Abschlag zu bringen, und verbleibt daher als Bedarf für die Reduktion des Eisens 0·0984 — 0·00214 = 0·09626 Pfd. Die durch die in Frage stehende Reduktion benöthigte Wärmemenge beträgt daher 0·09626 × 3133·3 = **301·6** Wärmeeinheiten.

§ 14. Pr. Pfd. des aufgegichteten Brennmaterials entfallen 2·2222 Pfd. Beschickung, und darin sind an kohlensaurem Kalk enthalten 15 × 2·2222 : 100 = 0·33333 Pfd.,

welcher bei entsprechender Erhitzung 0·33333 × 0·44 = 0·14666 Pfd. Kohlensäure entwickelt, die mit 0.18667 Pfd. Kalk vereinigt ist. Die zu dieser Trennung benöthigte Wärme beträgt 0·18667 × 197·1 = **36·8** Wärmeeinheiten.

§ 15. Da die aufgegichtete Holzkohle als 10% Wasser enthaltend angenommen wurde, so sind zur Verflüchtigung dieses Wassers pr. Pfd. gegichteter Kohle erforderlich 0·1 × (95 + 536) = **63·1** Wärmeeinheiten.

§ 16. Weiter muss jene Wärmemenge ermittelt werden, welche dadurch verloren geht, dass die vom Hohofen abziehenden Gase wärmer sind als die äussere Luft. Zu diesem Ende muss aber vorerst die Menge und Beschaffenheit dieser Gase ermittelt werden, welche sich pr. Pfd. des verbrauchten Brennmateriales im Hohofen vorfinden. Diese Gase bestehen aus:

a. dem aus dem Brennmateriale sich verflüchtigenden Wasserdampf, welcher pr. Pfd. Holzkohle beträgt 0·1 Pfd.;

b. den übrigen flüchtigen Bestandtheilen der Holzkohle, welche nach den vorhergehenden Annahmen bestehen, auf 1 Pfd. Brennmaterial berechnet aus:

0·559 × 0·06 = 0·03354 Pfd. Kohlensäure,
0·228 × 0·06 = 0·01368 „ Kohlenoxyd,
0·118 × 0·06 = 0·00708 „ Sumpfgas,
0·010 × 0·06 = 0·00060 „ Wasserstoff, und
0·085 × 0·06 = 0·00510 „ Stickstoff;

c. der aus der Beschickung ausgetriebenen Kohlensäure, welche pr. Pfd. des aufgegichteten Brennmateriales sich beläuft auf 0·14666 Pfd.;

d. den durch die Verbrennung des Kohlenstoffes und durch die Reduktion vermittelst desselben pr. Pfd. Brennmaterial gebildeten Gase. Diese bestehen zunächst aus den durch die Verbrennung mit der Gebläseluft erzeugten:

0·90613 + 0·90613 × 6 : 8 = 1·58573 Pfd. Kohlenoxyd,
2·94089 „ Stickstoff, und
0·00231 „ Wasserstoff;

und weiter aus dem durch die Reduktion vergasten
0·0984 Pfd. Kohlenstoff,

durch die Reduktion des Siliciums freigemachte

0·0025 × 24 : 21 = 0·00286 Pfd. Sauerstoff, und

endlich aus der mit dem Eisen in den Erzen vereinigten Sauerstoffmenge, welche per Pfd. verbrauchten Brennstoffes beträgt:

0·9555 × 7 × 8 : 5 × 28 = 0·3822 Pfd. Sauerstoff.

Von obengenannten 0·0984 Pfd. Kohlenstoff ist mit 0·1312 Pfd. Sauerstoff 0·2296 Pfd. Kohlenoxyd gebildet worden, während der Sauerstoffrest von 0·3822 + 0·00286 — 0·1312 = 0·25386 Pfd. mit 0·44425 Pfd. Kohlenoxyd sich verbunden hat zu 0·69811 Pfd. Kohlensäure; daher schliesslich durch die Verbrennung des Kohlenstoffes mit der Gebläseluft und durch die Reduktion pr. Pfd. verbrauchten Brennmateriales an Gasen gebildet worden sind:

	0·69811	Pfd.	Kohlensäure,
1·58573 + 0·2296 — 0·44425 =	1·37108	„	Kohlenoxyd,
	2·94089	„	Stickstoff und
	0·00231	„	Wasserstoff.

Pr. Pfd. des aufgegichteten Brennmateriales entweichen demnach als Gichtgase:

0·03354 + 0·14666 + 0·69811 =	0·87831	Pfd.	Kohlensäure,
0·01386 + 1·37108 =	1·38476	„	Kohlenoxyd,
	0·00708	„	Sumpfgas,
0·0006 + 0·00231 =	0·00291	„	Wasserstoff,
0·00510 + 2·94089 =	2·94599	„	Stickstoff, und
	0·10000	„	Wasserdampf
zusammen:	5·31905	„	Gichtgase,

worin also 16·5% Kohlensäure und 26% Kohlenoxyd enthalten sind.

Die mit diesen Gasen abgeführte Wärme*) berechnet sich, unter Annahme, dass sie mit einer mittlern Temperatur entweichen, welche um 450° höher ist als die äussere Luft,

*) Zu der mit den Gichtgasen abgeführten Wärme sollte eigentlich auch jene Wärme hinzugerechnet werden, welche von diesen Gasen während ihres Aufsteigens im Ofenschachte dadurch aufgenommen wird, dass sich ihre Pressung vermindert; allein da dies im vorliegenden Falle schwer genau zu berechnen wäre, und diese Wärmemenge zudem nicht bedeutend sein kann, so wird dieselbe ausser Acht gelassen.

und mit Anwendung der vorhergehend angegebenen specifischen Wärme derselben, auf:
450 (0·87831 × 0·2164 + 1·38476 × 0·2479 + 0·00708 × 0·5929 + 0·00291 × 3·4046 + 2·94599 × 0·244) + 0·1 × 0·4750 × 350 = **586·1** Wärmeeinheiten.

§ 17. Die durch den Gebrauch der mit Wasser gekühlten Formen verloren gehende Wärme beruht naturgemäss auf der Berührungsoberfläche derselben mit dem Innern des Ofens, und muss in dem Masse grösser werden, als die Formen bei einer gewissen Metalldicke weiter sind und durch das Ausbrennen des Gestelles mehr vorspringen. Bezüglich dieser Abkühlung hat Prof. Eggertz*) ermittelt, dass bei einer sehr wenig vorspringenden Wasserform mit $2^3/_8$ Werkszoll innern Durchmesser die Abkühlung per Minute betragen hat 1·586 × 61·52 = 97·57 Wärmeeinheiten, was bei einer Form von 25 Linien inneren Durchmesser bei 111 Wärmeeinheiten entspricht. Da der hier zu Grunde gelegte Hohofen mit 2 Formen und einer Wochenproduktion von 1600 Ctr. Roheisen angenommen wurde, so beläuft sich die durch beide Formen per Pfund erzeugten Roheisens oder aufgegichteter Kohle verbrauchte Wärme mindestens auf:
2 × 111 × 7 × 24 × 60 : 160000 = **14** Wärmeeinheiten.

§ 18. Hinsichtlich der durch den Tümpel und Vorherd verloren gehenden Wärme sind dem Verfasser in Schweden bisher keine Untersuchungen bekannt. Mit Rücksicht der vergleichungsweise grossen Abkühlungsfläche und des Wärmeverlustes, welcher beim Ausarbeiten des Vorherdes stattfindet, dürfte es nicht zu hoch gegriffen sein, wenn dieser Verlust an Wärme $1^1/_2$ mal so gross angenommen wird, als der soeben erörterte Verlust durch die Wasserformen, d. i. zu 1·5 × 14 = **21** Wärmeeinheiten per Pfd. des aufgegichteten Brennmateriales.

§ 19. Betreffs der durch die übrigen Begrenzungsflächen des Hohofens verursachten Abkühlung, welche auf der Mauerdicke und deren Wärmeleitungs-Vermögen beruhen muss, finden sich in Schweden gleichfalls keine Untersuchungen vor. Dagegen hat der hervorragende englische Eisenhütten-

*) Siehe Jern-Kontorets Annaler 1852, Seite 12.

mann, Herr Bell, bei einem Koakshohofen diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt*) und ist zu dem Resultate gelangt, dass blos durch die Seitenwände des Ofens diesem bei 55·4% von jener Wärmemenge entzogen werden, welche zur Schmelzung des Roheisens nothwendig ist. Es ist klar, dass die äussere Abkühlung bei den englischen Hohöfen der neueren Construktion mit den dünnen Schachtmauern, eine bedeutend grössere sein muss, als bei den schwedischen Hohöfen; allein mit Berücksichtigung der grossen Erzeugung bei den englischen Oefen, und des Umstandes, dass es sich hier nicht um den Wärmeverlust in der Zeiteinheit, sondern um den Verlust pr. Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens handelt, erscheint doch der diesbezügliche Verlust bei den englischen Oefen einigermassen vergleichbar mit dem bei schwedischen Oefen. Insolange demnach die eigenen Erfahrungen mangeln, soll mit Hinblick auf die durch Bell gewonnenen Erfahrungen die durch die Seitenwände und den Boden verursachte Abkühlung bei den schwed. Holzkohlen-Hohöfen, welche mit Kern-, Futter- und Rauhschacht versehen sind, mit 30% der zum Schmelzen des Roheisens erforderlichen Wärmemenge angenommen werden, d. i. $0·3 \times 310 = 93$ Wärmeeinheiten pr. Pfd. des aufgegichteten Brennmateriales.

Zur Erlangung eines bessern Ueberblickes der vorstehend erörterten Wärmeverwendungen und Verluste sollen dieselben hier schliesslich noch zusammengestellt werden. Es sind dies pr. Gewichtseinheit der aufgegichteten Holzkohle folgende:

Zur Schmelzung des Roheisens . . .	310·0	Wärmeeinheiten,
„ „ der Schlacke	342·2	„
„ Reduktion des Siliciums durch Kohle	14·3	„
„ „ „ Eisens durch Kohle	301·6	„
„ Austreibung der Kohlensäure aus der Beschickung	36·8	„

*) Ueber die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhohöfen von verschiedenen Dimensionen. Nach J. L. Bell übersetzt von P. Tunner, Seite 31.

Zur Austreibung des Wassers aus der Holzkohle	63·1	Wärmeeinheiten,
Mit den Gichtgasen abgeführte Wärme	586·1	„
„ dem Formenkühlwasser abgeführte Wärme	14·0	„
Durch die Abkühlung am Tümpel und Vorherd	21·0	„
„ „ „ der Seitenwände und des Bodens	93·0	„
Summe der verbrauchten Wärme	1782·1	Wärmeeinheiten.

Die Summe der pr. Pfund des aufgegichteten Brennmateriales dem Hohofen von aussen zugeführten und in demselben selbst erzeugten Wärme, beträgt nach den vorstehenden Berechnungen 1796.3 Wärmeeinheiten, daher sich blos ein Abgang von 14·2 Wärmeeinheiten oder 0·8% der ganzen erzeugten Wärmemenge ergiebt, dessen Verwendung nicht nachgewiesen erscheint.

---

§ 20. Bevor auf eine nähere Betrachtung der verschiedenen, wärmeverbrauchenden Prozesse des Hohofens eingegangen wird, soll zur Vermeidung möglicher Missverständnisse noch deutlicher gezeigt werden, dass in der oben gegebenen Wärmeabführung durch die warmen Gichtgase, der grosse Wärmeverlust, welcher durch die unvollständige Verbrennung dieser Gase verursacht wird, gänzlich unberücksichtigt geblieben ist; oder mit anderen Worten, dass ein grosser Theil der abziehenden Gichtgase noch brennbar, daher noch immer als Brennmaterial zu betrachten ist. Der hierdurch pr. Gewichtseinheit des aufgegichteten Brennmateriales sich ergebende, besonders grosse Wärmeverlust umfasst nämlich alle jene Wärme, welche erzeugt werden könnte, wenn die der genannten Gewichtseinheit entsprechenden, in den Gichtgasen enthaltenen Mengen von Kohlenoxyd, Sumpfgas und Wasserstoffgas vollständig zu Kohlensäure und Wasser verbrannt würden. Dieser Wärmeverlust beziffert sich sonach zu:
$1{\cdot}38476 \times 2403 + 0{\cdot}00708 \times (8080 \times 12 : 16 + 29638 \times 4 : 16) + 0{\cdot}00291 \times 29638 = 3327{\cdot}6 + 95{\cdot}3 + 86{\cdot}2$ $=$ **3509·1** Wärmeeinheiten.

Entgegen die Wärmemenge, welche im Hohofen erzeugt würde, wenn das mit der Gebläseluft zugeführte Wasser als solches den Hohofen verlassen und alle brennbare Bestandtheile der Holzkohle, mit alleiniger Ausnahme des von dem Roheisen chemisch gebundenen Kohlenstoffes, vollständig zu Kohlensäure und Wasser verbrannt werden könnten, berechnet sich zu $0{\cdot}82\ (1-0{\cdot}05122) \times 8080 + 0{\cdot}01368 \times 2403 + 0{\cdot}00291 \times 29638 + 0{\cdot}00708 \times (8080 \times 12 : 16 + 29638 \times 4 : 16) = 6286{\cdot}2 + 32{\cdot}9 + 86{\cdot}2 + 95{\cdot}3 =$ **6500·6** *) Wärmeeinheiten. Die durch unvollständige Verbrennung des Brennmateriales im Hohofen verlorene Wärme beträgt sonach $6500{\cdot}6 : 3509{\cdot}1 = 100 : x$, $x =$ **53·9** % derjenigen Menge, welche durch eine vollständige Verbrennung erzeugt werden könnte.

Da die vollständigere Verbrennung nur durch den Sauerstoff der Erze bewirkt werden kann, so ist leicht einzusehen, dass dies in einem um so höhern Grade möglich sein muss, je mehr Erze auf eine bestimmte Kohlenmenge gesetzt werden können. Es geht daraus klar hervor, dass man durch einen verminderten Wärmebedarf im Hohofen, wie durch eine Zuführung möglichst billiger Wärme von aussen, so viel als möglich bestrebt sein soll, den Hohofenprozess in dieser Richtung zu verbessern. Uebrigens wird unter keinerlei Anordnung eine ganz vollständige Verbrennung des verwendeten Brennmateriales je erreicht werden, weil dazu nebst anderm erforderlich wäre, dass das in den Hohofengasen vorkommende Kohlenoxyd bis auf die letzte Spur darin auf die Erze reduzirend wirken könnte, was bei den besonders schwer reduzirbaren schwedischen Eisenerzen (vorwaltend Magneteisenstein und Eisenglanz) nicht möglich ist.

---

*) Der Unterschied dieser Zahl, gegenüber der im Hohofen erzeugten Wärme mehr der durch die noch brennbaren Theile der Gichtgase abgeführten, d. i. $6500{\cdot}6 - (1796{\cdot}3 + 3509{\cdot}1) = 1195{\cdot}2$ Wärmeeinheiten, stammt von jener Wärme, welche während der Reduktion des Eisens, Siliciums und Wasserstoffes durch die Verbrennung des Kohlenoxydes zu Kohlensäure und des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd erzeugt worden ist; nachdem diese Wärme bei der genannten Reduktion aber auch wieder verbraucht wird, so erscheint dieselbe auf keiner Seite zu Gute gerechnet.

Die Ursache hiervon ist, dass ebenso, wie das oxydirte Eisen vom Kohlenoxyd unter Bildung von Kohlensäure reduzirt wird, ingleichen das Eisen von der Kohlensäure unter Bildung von Kohlenoxyd oxydirt werden kann. Die eine wie die andere von diesen beiden Reaktionen bei der Berührung zwischen einem Gemenge von oxydirtem und metallischem Eisen einerseits, und einer Mischung von Kohlenoxyd und Kohlensäure andererseits, beruht sowohl auf dem obwaltenden Wärmegrad, wie auf dem Verhältnisse in welchem beide Gase in der Mischung enthalten sind. Herrn Bell's diesbezügliche Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Gemenge von oxydirtem und metallischem Eisen hierbei ohne Einwirkung bleibt: bei dunkler Rothhitze, wenn die Gasmischung dem Volumen nach enthält, auf 60 Theile Kohlensäure an 40 Theile Kohlenoxyd; weiter bei voller Rothhitze, wenn in der Gasmischung auf 32 Volumtheile Kohlensäure an 68 Volumtheile Kohlenoxyd, und bei Weissglühhitze, wenn in der Gasmischung dem Volumen nach auf 10 Theile Kohlensäure an 90 Theile Kohlenoxyd entfallen. Wenn dagegen das Kohlenoxyd in grösserer Menge enthalten ist, als bei den bezüglichen Temperaturen angegeben wurde, so reagirt der Ueberschuss an Kohlenoxyd auf das oxydirte Eisen oder das Eisenerz reduzirend; sowie umgekehrt, wenn die Kohlensäure in den bezüglichen Temperaturen das angegebene Mass überschreitet, wirkt deren Ueberschuss oxydirend auf das metallische Eisen; und findet die Reduktion oder Oxydation in so lange statt, bis das in den bezeichneten Temperaturen als neutral angegebene Mischungsverhältniss zwischen Kohlensäure und Kohlenoxydgas eingetreten ist. Hieraus folgt, dass je höher die Temperatur ist, desto geringer der Gehalt an Kohlensäure sein muss, damit die Gasmischung reduzirend wirken kann, und weiter, dass die Erwärmung der Erze möglichst langsam erfolgen muss, wenn noch eine Reduktion bei kohlensäurereichen und relativ kohlenoxydarmen Gasmischungen möglich sein soll. Wenn demnach, wie es der Fall zu sein scheint, bei so dichten Erzen wie der Magneteisenstein ist, eine nennenswerthe Reduktion nicht früher als bei dunkler Rothhitze erfolgt, so ist begreiflich, dass wie immer vorsichtig die

Erwärmung der Erze erfolgen möge, oder wenn noch so langsam die aufgegichteten Erze im Schachte niedergehen, dennoch die Hohofengase nicht länger reduzirend wirken können, als bis zu dem Momente, wo die Kohlensäuremenge ungefähr $1^1/_2$ mal so gross wie das Volumen des Kohlenoxydes geworden ist.

Obgleich die Bestrebungen des Eisenhüttenmannes stets dahin gerichtet sein sollen, eine möglichst vollständige Oxydation des aufgegichteten Brennmateriales, oder mit anderen Worten: auf den bestimmten Kohlensatz einen möglichst grossen Erzsatz zu erreichen, so ist dies doch aus den angegebenen Ursachen, insbesondere mit so schwer reduzirbaren Erzen wie Eisenglanz, und vornämlich wie Magneteisenstein dies sind, niemals in dem Grade zu erreichen möglich, dass das Brennmaterial vollständig genug ausgenützt werden könnte. Es bleibt daher von grossem Gewicht, ein geziemendes Augenmerk auf eine entsprechende Benützung des bedeutenden kalorimetrischen Wärmeeffektes zu richten, welchen unter allen Umständen die unvollständig oxydirten Gichtgase besitzen. Findet alle diese Wärme ausserhalb des Hohofens eine zweckmässige Verwendung, was nebenbei erwähnt ohne geschlossene Gicht nicht möglich ist, so dient in einem solchen Falle der Hohofen gleichsam als ein grosser Gasgenerator, in welchem selbst die bei der Vergasung des Brennmateriales erzeugte Wärme benutzt wird, was bei gewöhnlichen Gasgeneratoren selten geschieht, und — wenigstens ein Theil des dargestellten Roheisens erscheint dann gleichsam als ein bei der Gasproduktion unentgeltlich erhaltenes Nebenprodukt.

Zur Ermittlung der Möglichkeiten, wie durch einen verminderten Kohlenaufwand, oder durch einen bei demselben Kohlensatze vermehrten Erzsatz ein besseres Betriebsresultat beim Hohofen zu erreichen ist, soll nun zunächst jede der vorhin angegebenen Ursachen des Wärmeverbrauchs abgesondert näher untersucht werden, und hiernach soll der Einfluss der Anwendung des erhitzten Windes für sich betrachtet werden.

§ 21. Der mit dem Winde in den Hohofen geführte Wasserdampf wird in Berührung mit den glühenden Kohlen in

Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, wovon der letztere sich sofort mit der Kohle zu Kohlenoxyd verbindet. Hierdurch wird ein bedeutender Wärmeverlust verursacht, welcher am besten durch eine Vergleichung der kalorimetrischen Wärmeeffekte der betreffenden Körper, u. zw. pr. Gewichtseinheit des Sauerstoffes, beurtheilt werden kann. Diese sind:

Für den Wasserstoff bei der Verbrennung zu Wasser
$29638 : 8 = 3705$ Wärmeeinheiten.

Für den Kohlenstoff bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd
$2473 \times 6 : 8 = 1855$ Wärmeeinheiten.

Bei jedem Pfund Sauerstoff, welcher unter Bildung von Kohlenoxyd vom Wasserstoff zum Kohlenstoff übergeht, werden daher $3705 - 1855 = 1850$ Wärmeeinheiten verbraucht; und mit jedem Pfund Wasser, das mit dem Winde in den Hohofen gelangt, werden sohin $1850 \times 8 : 9 = 1644{\cdot}4$ Wärmeeinheiten gebunden, wobei noch überdies die zu dem Ende verbrauchte Kohlenstoffmenge (0·6667 Pfd. für jedes Pfd. Wasser) nutzlos verloren geht.

Man sollte glauben, dass wenn sonach der hierbei frei gewordene Wasserstoff mit noch nicht reduzirten Eisenerzen in Berührung kommt, derselbe auf Kosten des Sauerstoffes der Erze sogleich zu Wasser oxydirt und solchergestalt die vorerst durch die Zersetzung des Wassers gebundene Wärme etwas höher oben im Schachte wieder frei gemacht werde. Der Wassergehalt des Windes würde also bei einem derartigen Vorgange dem Hohofen im Ganzen keinen Wärmeverlust zufügen, sondern im Gegentheil eine kleine Wärmeersparung dadurch zur Folge haben, weil an der Gasmenge etwas erspart wäre, welche zur Erzeugung derselben Wirkung mittelst Kohlenstoff resultirt. Allein ein solcher Vorgang scheint nicht statt zu finden; denn nebst andern haben auch die Gasanalysen der Herren Rinman und Fernqvist in Schweden gezeigt, dass der im Hohofen einmal gebildete Wasserstoff nicht wieder oxydirt wird, oder wenigstens, dass derselbe im Falle er eine Oxydation erleidet durch die Kohle sogleich wieder reduzirt wird, und daraus folgt, dass der Wasserstoff im Hohofen in Beziehung auf die Reduktion als ein neutrales Gas anzusehen ist, und gleich dem Stickstoff den Hohofen nur der Wärme beraubt ohne einen ent-

sprechenden Nutzen zu leisten. Hierzu kommt, wie bereits bemerkt wurde, dass der Wasserstoff bei seiner Entbindung (der Reduktion aus dem Wasser), unter Einrechnung des Wärmeeffektes des hierbei verwendeten Kohlenstoffes, pr. Pfd. eingeblasenen Wasserdampfes den Hohofen um 29638 : 9 = 3293 Wärmeeinheiten beraubt. Aus allen dem folgt, dass getrachtet werden soll den Hohofen mit möglichst trockner Luft zu speisen, weshalb auch die Wintermonate in dieser Hinsicht für den Hohofenbetrieb günstiger sind als die Sommermonate mit ihrem grössern Wassergehalt in der Atmosphäre. Merkwürdig in dieser Beziehung ist jedoch der Umstand, dass der Hohofengang sich nicht so empfindlich für das Regenwetter erweist, als man gewöhnlich zu beobachten glaubt.

§ 22. Was die zum Vorwärmen und Schmelzen des Roheisens und der Schlacke erforderliche Wärme betrifft, so mangelt es bisher noch an ausreichenden Untersuchungen, um mit Bestimmtheit sagen zu können, wie die Beschickung zusammengesetzt sein soll, um zur Schmelzung mit dem geringsten Wärmebedarf auszukommen. Indessen so viel ist durch Rinman's und durch in Frankreich angestellte*) Untersuchungen ausgemacht, dass eine viel bedeutendere Wärmemenge zum Schmelzen der gewöhnlichen Hohofenschlacke, als zu dem gleichen Gewichte Roheisen erforderlich ist. Wird in Uebereinstimmung mit den vorausgeschickten Berechnungen angenommen, dass das Roheisen mit 310 und die Schlacke mit 440 Wärmeeinheiten pr. Pfd. des betreffenden Körpers aus dem Ofen fliesst, so muss die aus dem Ofen laufende Schlacke diesem 440 : 310 = 1·42 mal mehr Wärme entführen, als das gleiche Gewicht an Roheisen. Daraus folgt, dass reiche oder weniger schlackeführende Beschickungen pr. Ctr. des dargestellten Roheisens im allgemeinen einen geringern Kohlenbedarf verursachen, als die armen Beschickungen. Wenn die zum Schmelzen erforderliche Wärmemenge für

---

*) Diesen Untersuchungen gemäss soll die aus dem Hohofen fliessende Schlacke 550 und das Roheisen 330 Wärmeeinheiten besitzen, während in vorliegender Abhandlung nach Rinman's Bestimmungen die diesbezüglichen Zahlen für die Schlacke mit 440 und für das Roheisen mit 310 angenommen wurden.

sich allein massgebend für den Kohlenverbrauch beim Hohofenprozess wäre, so würde selbstverständlich die auf eine gewisse Kohlenmenge gesetzte Erzquantität in dem Masse grösser genommen werden können, als die Beschickung reicher wäre. Allein es zeigt sich in der Praxis im Gegentheil, dass auf denselben Kohlensatz von der reicheren Beschickung dem Gewichte nach weniger als von der ärmern gesetzt werden kann, wovon die Ursache in dem mit der Reduktion der Erze verbundenen Aufwande an Kohle und Wärme zu suchen ist, wovon noch das Nähere folgen wird. Pr. Tonne Gichtkohle kann daher im Allgemeinen von den reichern Beschickungen weniger gegichtet werden, als von den ärmeren. Indessen durch die grössere Schlackenmenge wie durch ihre höhere sowohl spezifische als Schmelzungs-Wärme, stellt sich doch in der Regel der Kohlenaufwand pr. Ctr. dargestellten Roheisens bei reichern Beschickungen niedriger als bei den ärmeren, und zweifellos ist es daher, dass die Hohofenbeschickung nicht unnöthiger Weise ärmer gemacht werden soll, als es die obwaltenden Umstände und vor allem die gewünschte Beschaffenheit des darzustellenden Roheisens verlangt.

§ 23. In Betreff der Reduktion des Siliciums und dessen Verbindung mit dem Roheisen ist zunächst zu bemerken, dass die Kieselsäure so schwer reduzirbar ist, dass die Reduktion im Hohofen nur auf Kosten des Kohlenstoffes erfolgen kann, welcher hierdurch zu Kohlenoxyd oxydirt wird. Die hierbei pr. Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens verbrauchte Wärmemenge stellt sich auf $14{\cdot}3 \times 4 = 57{\cdot}2$ Wärmeeinheiten *) für jedes vom Roheisen aufgenommene Prozent Silicium, wozu aber noch der hierzu direkt verbrauchte Kohlenstoff, d. i. $3 \times 6 : 21 = {}^6/_7$ der reduzirten Menge Silicium zu rechnen kommt. Daraus wird ersichtlich, dass bei sonst gleichen Umständen um so mehr Kohle und Wärme verwendet werden muss, je siliciumreicher das Roheisen gewünscht wird. Dass übrigens um so mehr Silicium vom Roheisen aufgenommen

*) In der Praxis muss sich dieser Wärmebedarf insofern noch etwas grösser stellen, als hier nicht inbegriffen ist jene Wärme, welche zur Zerlegung des Silicates oder Abscheidung der Kieselsäure aus der Schlacke erforderlich ist.

wird, je mehr davon in der Beschickung enthalten ist, bedarf kaum bemerkt zu werden.

§ 24. Was die Reduktion der Eisenerze betrifft, so ist bekannt, dass sie sowohl durch Verbrennung des Kohlenoxydes zu Kohlensäure (wobei eine Veränderung in der Wärme nicht eintritt, indem gleich viel Wärme erzeugt wie verbraucht wird), als auch durch die Verbrennung der Kohle zu Kohlenoxyd bewirkt wird, bei welcher letztern Reduktionsart jedoch eine Wärmeverminderung von 2350 Wärmeeinheiten pr. Gewichtseinheit der den Erzen entzogenen Sauerstoffmenge die Folge ist. Ausserdem findet dabei der gleichfalls beachtenswerthe Kohlenverlust von 6 : 8 oder $^3/_4$ Gewichtseinheiten für jede Gewichtseinheit der auf diese Weise von den Erzen entfernten Sauerstoffmenge statt. Für die Ersparung an Kohle ist es daher von der grössten Wichtigkeit, dass die Anordnungen dergestalt getroffen werden, dass möglichst viel von den Erzen durch Kohlenoxyd reduzirt werde. Dazu ist erforderlich, dass die Reduktion möglichst vollständig im oberen Theil des Schachtes abgeschlossen werde, wo die Wärme noch nicht jenen Grad erreicht hat, dass die durch die Reduktion gebildete Kohlensäure in Berührung mit der umgebenden Kohle wieder zu Kohlenoxyd reduzirt werden kann, weil sonst das ganz gleiche Verhältniss obwaltet, wie in dem Falle wo die Reduktion der Erze unmittelbar durch die Oxydation der Kohle zu Kohlenoxyd erfolgt. Dieses Ziel, nämlich die möglichst vollständige Reduktion in den oberen, kühleren Schachträumen wird in dem Masse besser erreicht, als die Erze leichter zu reduziren sind und langsamer im Schachte niedersinken.

Es würde über die Grenzen des Hauptzieles der vorliegenden Abhandlung führen, wenn auf eine genaue Untersuchung der verschiedenen Eisenerze bezüglich ihrer beobachteten Reduzirbarkeit eingegangen werden wollte; aber soviel mag hier diesbezüglich angeführt werden, dass nach den bisher ausgeführten Analysen der Gichtgase bei den schwedischen Hohöfen (siehe Jernkontorets Annaler von 1865) zu urtheilen, die Reduktion bei den daselbst verhütteten dichten Magneteisenstein, Eisenglanz und Rotheisenstein nicht früher als vor der unmittelbaren Nähe der Formen abge-

schlossen ist, und dass in Folge davon ein gewisser Antheil Kohle (7 bis 16% von der ganzen aufgegichteten Kohlenmenge) als solche zur Reduktion erfordert wird. Dagegen bei Eisenerzen, welche in Folge ihrer Porosität leichter zu reduziren sind, wie z. B. die gerösteten Eisenoxydhydrate und Spatheisensteine, welche in vielen Ländern die vorwaltenden Erze auf den Hütten bilden, mag es allerdings möglich sein wenn die übrigen Anordnungen darnach getroffen sind, dass die Reduktion vollbracht wird, ohne dazu eines besondern Theiles der aufgegichteten Kohle zu benöthigen. So z. B. ist Herr Bell laut seinem citirten Werke auf Grundlage angestellter Untersuchungen zu dem Resultate gelangt, dass in einem mit gerösteten Clevelandeisensteinen (kohlensaures Eisenoxydul) betriebenen, 80 Fuss hohen Ofen mit circa 12,000 Fuss Rauminhalt, für die Reduktion der Eisenerze ein besonderer Kohlenbedarf nicht benöthigt werde.

Nebst dem grössern oder geringern Grade der Reduzirbarkeit beruht die zur Reduktion erforderliche Kohlenmenge, wie soeben erörtert wurde, auch auf der längern oder kürzern Zeit für den Niedergang der Erze durch jenen Theil des Ofenschachtes, in welchem die Temperatur hinreichend für die Reduktion durch Kohlenoxyd, aber noch nicht so hoch ist um die gebildete Kohlensäure in der Berührung mit der Kohle wieder zu Kohlenoxyd zu reduziren. Je höher und räumlicher der Ofenschacht ist, desto ausgedehnter muss die sogestaltet entsprechend erwärmte Zone werden, und desto vollständiger können sonach auch die Erze reduzirt werden, bevor sie in die mehr erwärmten, tiefern Theile des Schachtes einrücken, wo die Reduktion der Kohlensäure beginnt. Die Verminderung der zur Reduktion benöthigten Kohle ist daher eine der Ursachen, weshalb der relative Kohlenaufwand in den grössern Hohöfen sich geringer als in den kleinern stellt. Ferner ist daraus aber auch zu folgern, dass der zur Reduction benöthigte Kohlenverbrauch um so geringer werden muss, je mehr das Niedergehen der Erze durch Verminderung der Windmenge verzögert wird. Allein hierbei darf nicht übersehen werden, dass der Kohlenverbrauch nicht blos auf jenem Antheil beruht, der zur Reduktion benöthigt wird, und dass bei einer zu sehr ver-

minderten Windmenge die Temperatur im Hohofengestelle bald so weit sinken müsste, dass eine ordentliche Schmelzung nicht mehr erfolgen könnte. Hieraus erhellt, dass man durch eine zu sehr verminderte Windmenge keine Kohlenersparung erzielen kann, sondern bei übrigens geregelten Umständen wird der geringste Kohlenbedarf bei einer gewissen Windmenge (einer gewissen Raschheit in dem Gichtenwechsel), welche übrigens bei verschiedenen Verhältnissen selbst eine verschiedene sein muss, eintreten. Dabei werden die einzelnen Schachtzonen in ihrer Lage und Ausdehnung so geregelt, dass jede bemerkenswerthe Vermehrung oder Verminderung der Windmenge von einem vermehrten Kohlenbedarf begleitet ist, um dauernd einen reinen Ofengang zu erhalten, indem bei vermehrter Windmenge die Vorbereitung der Erze in den obern Zonen, bei verminderter Windmenge dagegen die reine Schmelzung in der untersten Zone beeinträchtigt wird.

§ 25. Bezüglich der zur Zerlegung des kohlensauern Kalkes erforderlichen Wärme, welche nach Schinz pr. Gewichtseinheit dieses Körpers

$197{\cdot}1 \times 28 : 50 = 110{\cdot}4$ Wärmeeinheiten beträgt,

ist klar, dass diesem Wärmeverlust im Hohofen vorgebaut werden kann, wenn der Zuschlagskalk im gebrannten Zustande aufgegichtet wird. Allein um dadurch einen wirklichen Vortheil zu erreichen, ist es nothwendig den Kalkzuschlag stets in frischgebranntem Zustande bei der Hand zu haben, weil sonst vom gebrannten Kalkstein mehr oder weniger Wasser und Kohlensäure aufgenommen wird; daher ohne beständige Untersuchungen nie bekannt ist, wie viel von einem solchen, theilweise wieder gelöschten Kalk pr. Gicht zugewogen werden soll, um die gewünschte Kalkmenge in der Beschickung zu haben. Dieser nämliche Umstand ist ingleichen bei den sehr kalkreichen Eisenerzen zu beachten. Je kalkreicher die Erze sind, desto mehr ist zu berücksichtigen, dass dieselben nach der Röstung nicht zu lange dem Einflusse der Luft ausgesetzt bleiben, und vor allem, dass sie vor der Nässe bewahrt werden. Um die nöthige Gleichförmigkeit in der Beschickung einhalten zu können, dürfen derartige, nach ihrer Röstung längere Zeit abgelegene Erze in nicht zu

grosser Menge mit anderen, oder frisch gerösteten Erzen verschmolzen werden. Nur bei einer so starken Röstung, dass der Kalk mit der vorhandenen Kieselerde sich verbinden könnte, oder bei sogenanntem todtgebrannten Kalk, entfällt die Einwirkung der Luft.

Im Zusammenhang hiermit mag weiter noch bemerkt werden, dass die Entbindung der Kohlensäure aus dem Kalkstein im Hohofen kaum vollständig beendet werden kann, bevor derselbe in eine so hohe Temperatur eingerückt ist, dass mindestens ein Theil der zuletzt ausgetriebenen Kohlensäure in Berührung mit der Kohle zu Kohlenoxyd reduzirt wird. Nebst dem hierdurch direkt verursachten Kohlenverlust ($^6/_{22}$ der reduzirten Menge Kohlensäure) ist eine bedeutende Wärmeverminderung die nothwendige Folge davon, u. zwar:
$(8080 - 2 \times 2473)\ 6 : 22 = 854{\cdot}7$ Wärmeeinheiten pr. Gewichtseinheit der reduzirten Kohlensäure. Beim ersten Anblick scheint es, dass der auf diese Art verursachte Brennstoffverlust erspart werden könnte, wenn der Kalkzuschlag im gebrannten Zustande aufgegichtet würde; allein die von Herrn Bell abgeführten Untersuchungen zeigen, dass der gebrannte Kalk in Berührung mit den Hohofengasen schon in den obern Schachträumen wieder Kohlensäure aufnimmt und diese, so wie der ungebrannt aufgegichtete Kalkstein, erst in höherer Temperatur wieder fahren lässt. Der Gewinn bei Verwendung von gebranntem Kalk muss in dieser Beziehung daher ein sehr kleiner, wenn nicht ganz verschwindender sein, und sich nur auf jenen, zuerst erörterten Theil beschränken, d. i. auf jene Wärme, welche zum Austreiben der Kohlensäure aus der Verbindung mit dem Kalk erforderlich ist. Dass dieser letztere Theil im Hohofen wirklich gewonnen werden muss, obgleich der gebrannte Kalk im obern Schachtraume sich wieder mit Kohlensäure verbindet, erhellt einfach aus der Betrachtung, dass sich bei dieser Vereinigung mit Kohlensäure jene Wärme entwickelt, welche bei der in den tiefern Schachträumen wieder erfolgten Trennung gebunden wird. Die Frage ob der Kalkstein im gebrannten oder ungebrannten Zustande aufgegichtet werden soll, ist demnach auf die Ermittlung beschränkt, in

wie weit das Brennen des Kalksteins ausserhalb des Hohofens billiger als innerhalb desselben ausgeführt werden kann, was indessen nur selten der Fall sein dürfte.

Da in den vorhergehenden Berechnungen über die Wärmeverhältnisse beim Hohofenprozess die aus dem Kalkstein entwickelte Kohlensäure nur als solche vorhanden angenommen worden ist, während hier doch soeben gezeigt wurde, dass ein Theil davon als zu Kohlenoxyd reduzirt anzunehmen sei, so muss hier bemerkt werden, dass dort die Rechnung deshalb so durchgeführt wurde, weil es in so lange, als nicht mit einiger Sicherheit angegeben werden kann, wie viel von dieser Kohlensäure zu Oxyd reduzirt wird, es bei der Berechnung einfacher schien, diese ganze Menge als Kohlensäure zu belassen. Es stellt sich diese Vereinfachung der Berechnung um so zulässiger dar, als ein eigentlicher Fehler in den Wärmeberechnungen dadurch nicht begangen wird; denn sobald die für alle im Hohofen bewirkten Reduktionen erforderliche Kohlenmenge als gegeben angenommen wird (im vorstehenden Falle mit 12% des im Brennmaterial vorhandenen freien Kohlenstoffes), so ist es für die Wärmeberechnung natürlich ganz dasselbe, ob angenommen wird, dass ein Theil dieser Kohlenstoffmenge zur Reduktion der vom Kalkstein stammenden Kohlensäure, und nur der Ueberrest zur Reduktion eines Theiles jener Kohlensäure verwendet wurde, welche durch die Reduktion der Eisenerze erzeugt worden ist; oder ob, wie in den Berechnungen geschehen ist, die ganze aus dem Kalkstein entwickelte Kohlensäure als unreduzirt und dafür um so mehr von der durch die Reduktion der Erze gebildeten Kohlensäure, als zu Kohlenoxyd reduzirt, in Rechnung genommen wird. Die Menge der reduzirten Kohlensäure bleibt in beiden Fällen dieselbe, und somit muss auch die zu dieser Reduktion verwendete Wärmequantität dieselbe bleiben.

§ 26. Die Verflüchtigung des im Brennmaterial enthaltenen Wassers consumirt, unter der Annahme, dass die Kohle mit einer Temperatur von 5° aufgegichtet wird, $95 + 536 = 631$ Wärmeeinheiten für jede Gewichtseinheit des bei 100° vergasten Wassers. Hierzu kommt, dass der wärmere Gasstrom dem gebildeten Wasserdampf so viel Wärme mittheilen muss,

dass die ganze Gasmischung einen nahezu gleichen Wärmegrad erhält. Es geht dadurch an und für sich unmittelbar keine Wärme verloren; allein da dieselbe Wärmemenge hierbei auf eine grössere Gasmenge vertheilt wird, so muss dadurch die Temperatur der Gasmischung herabgesetzt werden, und die auf die eine oder andere Weise verminderte Temperatur muss nachtheilig auf die Erwärmung der in Berührung kommenden, kälteren Materialien wirken, indem durch den verminderten Temperaturunterschied zwischen den aufgegichteten Materialien und den aufsteigenden Gasen die Mittheilung der Wärme abgeschwächt wird. Dagegen wird der schliessliche Verlust an Wärme durch die vom Hohofen abziehenden Gase bei der nassen Kohle kleiner, da diese Gase in Folge der durch die Verdunstung des Wassers denselben entzogenen Wärme, bei ihrem Abgange keine so grosse Wärmemenge besitzen, wie dies bei trockner Kohle der Fall wäre.

In der aufgestellten Berechnung ward der Wassergehalt der Kohle blos zu 10% und somit angenommen, dass die Kohle ganz trocken sei. Eine Tonne solcher Kohle wiegt 60 Pfd. und besteht aus:

49·2	Pfd.	Kohlenstoff,
1·2	„	Asche,
6·0	„	Wasser,
3·6	„	anderen flüchtigen Stoffen.
60·0	Pfd.	

Die zur Verflüchtigung des Wassers bei solcher Kohle benöthigte Wärmemenge beträgt pr. Pfund der aufgegichteten Kohle, oder pr. $^1/_{60}$ Tonne, wie bereits gezeigt wurde, 63·1 Wärmeeinheiten.

Untersucht man, wie viel Wärme zur Verflüchtigung des Wassers erforderlich wird, bei sonst gleicher, aber in dem Grade mit Wasser behafteter Kohle, dass die Tonne derselben 100 Pfd. wiegt, welche also besteht aus:

49·2	Pfd.	Kohlenstoff,
1·2	„	Asche,
46·0	„	Wasser,
3·6	„	anderen flüssigen Bestandtheilen,
100·0	Pfd.	

daher 46 : 6 = 7·6667 mal mehr Wasser als die trockene Kohle enthält, so ergiebt sich folgendes:

Von $^{1}/_{60}$ Tonne dieser nassen Kohle müsste im Hohofen eben so viel Wärme erzeugt werden, wie von 1 Pfd. der trockenen Kohle, wenn nicht bei der erstern in Folge der durch die schlechtere Vorwärmung verkürzten Reduktionszeit mehr Kohle zur Reduktion benöthigt würde, somit weniger zur Verbrennung mit dem Winde übrig bliebe. Da es jedoch nicht möglich ist auf Grundlage bisheriger Versuche bestimmt anzugeben, um wie viel mehr Kohle in Folge eines gewissen Wassergehaltes des Brennstoffes zur Reduktion erforderlich ist, so soll vorläufig zugegeben werden, dass im Hohofen die gleiche Menge Wärme pr. Kubikeinheit der nassen Kohle wie bei der trockenen erzeugt werde. Ungeachtet dieses für die nasse Kohle entschieden zu günstigen Zugeständnisses bleibt die durch den grossen Wassergehalt verursachte Herabsetzung der Wärme in jedem Falle eine sehr bedeutende; denn während zur Vergasung des Wassers bei der als trocken angenommenen Kohle 63·1 Wärmeeinheiten verwendet werden, beträgt der Wärmeaufwand bei dieser Operation für die nasse Kohle 7·6667 × 63·1 = 483·8 Wärmeeinheiten.

Dieser Wärmeverlust wird weiter noch vermehrt, wenn der Wassergehalt der Kohle zu Eis gefroren ist; denn in einem solchen Falle kommt noch die Schmelzungswärme des Eises dazu, welche 79 Wärmeeinheiten pr. Pfd. beträgt. An Stelle der 631 Wärmeeinheiten, welche im Vorhergehenden zur Verdampfung von 1 Pfd. Wasser angenommen wurden, werden für 1 Pfd. nullgradiges Eis 79 + 636 = 715 Wärmeeinheiten erforderlich. Wenn daher die Kohle an Stelle des Wassers ein entsprechendes Gewicht an Eis oder Schnee enthält, so stellt sich der dadurch herbei geführte Wärmeverlust bei der trocknen Kohle auf 71·5 und bei der nassen auf 7·6667 × 71·5 = 548 Wärmeeinheiten.

Der dem Hohofen im Ganzen durch den Wassergehalt der Kohle zugefügte Wärmeverlust ist allerdings geringer als die aufgeführten Zahlen anzeigen, weil die Temperatur der abziehenden Gichtgase durch den Wärmeverbrauch zur Verdampfung erniedrigt wird; allein die aufgeführten Zahlen

dürften doch eindringlich genug zeigen, wie ungereimt es ist, wenn von einem mit nasser Kohle arbeitenden Hohofen ebenso gute Resultate erwartet oder angenommen werden wollen, wie bei dem Betriebe mit trockener Kohle, und ingleichen erhellt daraus, wie wichtig es ist, dass die Holzkohle unter Dach aufbewahrt werde und dass die diesfallsigen Kosten sehr bald bezahlt sein müssen.

§ 27. Die mit den Gichtgasen abgeführte Wärmemenge ist, wie die aufgestellten Berechnungen zeigen, eine sehr bedeutende, indem bei den gestellten Annahmen mit jedem Wärmegrad, um welchen die Temperatur der abziehenden Gase die der äussern Luft übersteigt, pr. Gewichtseinheit der aufgegichteten Kohle 1·3 Wärmeeinheiten dem Hohofen entzogen werden.

Die im Hohofengestelle erzeugten Gase, welche bei ihrem Aufsteigen durch den Ofenschacht noch durch die bei der Reduktion erzeugten und zum Theil aus dem Brennstoff und der Beschickung entwickelten Gase vermehrt werden, geben einen Theil ihrer Wärme an die im Schachte niedersinkenden Materialien ab, und muss diese Wärmeabgabe um so vollständiger erfolgen, durch je mehr Materialien die aufsteigenden Gase passiren müssen, oder je längere Zeit die Berührung zwischen den Gasen und den festen Materialien dauert. In dem Verhältniss als die Gase mehr Wärme an die niedersinkenden Materialien abgeben konnten, wird der Wärmeverlust durch die abziehenden Gichtgase geringer, woraus hervorgeht, dass je grösser der Hohofen ist, desto vollständiger die Wärme der Gase zu gute gebracht wird; wogegen ein langsamerer Gichtenwechsel durch die verlängerte Berührungszeit ebenso bis zu einer gewissen Grenze dazu beiträgt, dass die langsamer niedersinkenden Materialien von den Gasen mehr Wärme aufnehmen.

Je grösser der Temperaturunterschied zwischen den Schmelzmaterialien und den sie erwärmenden Gasen ist, desto rascher erfolgt die Erwärmung der Materialien, weshalb im obersten Theil des Ofenschachtes die Temperatur am schnellsten abnimmt. Hieraus wird das Verhalten erklärlich, warum die durch Vergrösserung des Ofenschachtes herbeigeführte Wärmeersparung in keinem konstanten Verhältnisse

mit dieser Vergrösserung steht, sondern für eine bestimmte Volumsvermehrung in dem Verhältniss kleiner wird, als der Ofenschacht schon vor dieser Vermehrung grösser war. So hat die Erfahrung in Schweden gezeigt, dass bei der Erhöhung eines 40 Fuss hohen Ofens auf 50 Fuss, die damit erzielte Brennmaterialersparung bedeutend geringer war, als die mit einer Erhöhung von 30 auf 40 Fuss erlangte.

Am deutlichsten erhellt das zuletzt berührte Verhalten aus den Temperaturbestimmungen des Herrn Bell, welche derselbe bei den Gichtgasen von 4 ungleich grossen, aber im übrigen unter gleichen Verhältnissen betriebenen Koakshohöfen zu Clarence in England vorgenommen hat. Die hierbei ausgemittelten Wärmegrade haben jeder für sich genommen natürlich keine allgemeine Giltigkeit, und am allerwenigsten für die bei den Holzkohl-Hohöfen ganz verschiedenen Verhältnisse; allein unter sich verglichen liefern sie doch einen auffälligen Beweis für das vorgenannte Verhalten, weshalb die von Herrn Bell darüber gelieferte grafische Zusammenstellung, in Fig. 1. der angeschlossenen Tafel I., wieder gegeben wird. In dieser Figur sind die direkt bestimmten Temperaturen der Gichtgase (452° bei 6504 Kubikfuss Schachtinhalt, 321° bei 12526 Kubikfuss, 313° bei 16621 Kbfss., und 380° bei 27585 Kbfss. Schachtinhalt) mit einer Kurve verbunden, welche die entsprechenden Temperaturen für unter gleichen Umständen arbeitende Hohöfen mit dazwischen liegendem Rauminhalte anzeigt.

Die durch eine Vergrösserung der Hohöfen erlangte Brennmaterialersparung beruht jedoch nicht allein auf der niedrigern Temperatur der Gichtgase, sondern (wie im Vorhergehenden bei der Frage nach der Reduktion bereits erörtert worden ist) zugleich auf der durch die Volumsvermehrung des Ofens beförderten Reduktion, weshalb auch die Brennmaterialersparung bei den von Herrn Bell untersuchten Hohöfen nicht mit derselben Geschwindigkeit abnahm, wie es der niedrigern Temperatur der Gichtgase und dem von derselben bedingten Wärmegewinn entsprechen würde (Fig. 1), sondern in den Verhältnissen wie sie in Figur 2 Tafel I. grafisch dargestellt sind.

Bei Gelegenheit der Erörterung der Frage nach der

mit den abziehenden Gichtgasen verlorenen Wärme, mögen auch einige Worte über den bedeutenden Wärmeverlust ausgedrückt werden, welcher dadurch veranlasst wird, wenn die behufs ihrer weitern Verwendung abgeführten Hohofengase in einer ansehnlichen Tiefe unter der Gichtmündung aufgefangen werden. Je bedeutender diese Tiefe ist, desto weniger Wärme konnten die Gase vor ihrem Abzuge aus dem Ofen abgeben, desto grösser muss folglich der Wärmeverlust für den Hohofen sein. Bei der in Schweden gewöhnlichen Tiefe der Gasfänge in $^1/_3$ der Schachthöhe erweist sich die Temperatur der Gase durchschnittlich mit ungefähr 800°, und wenn die ganze Gasmenge bei ihrem Austritte aus dem Ofen eine solche Temperatur besässe, so würde dem Ofen hierdurch eine Wärmemenge von $1 \cdot 3 \times 800 = 1040$ Wärmeeinheiten pr. Gewichtseinheit des aufgegichteten Brennmateriales entzogen werden. Und wenn hierzu noch jener Verlust gerechnet wird, welcher bei dem Abzug der Gase aus einer solchen Tiefe der Reduktion zugefügt wird, so erhellt daraus, dass wohl nur in der relativ geringen Gasmenge, welche auf diesem Wege dem Hohofen entzogen wird um sie anderweitig zu verwenden, der Erklärungsgrund zu suchen ist, dass man in Schweden erst in den letzteren Jahren darauf bedacht worden ist die Gasabfänge höher hinauf, d. h. näher der Gichtöffnung zu verlegen. Ohne geschlossene Gicht kann jedoch weder die volle Gasmenge durch die ganze Säule der aufgegichteten Materialien passiren, und noch weniger lässt sich eine vollständige Abführung der Gase zu ihrer anderweitigen Verwendung erzielen, weshalb der Verfasser die Hoffnung ausspricht, dass auch in Schweden in naher Zukunft der Vorschlag zur Anwendung von geschlossenen Gichten zur Wirklichkeit werden wird.

Endlich sei bemerkt, dass die Grösse der einzelnen Gichtsätze gleichfalls auf die mit den Gichtgasen abgeführte Wärmemenge von Einfluss ist; denn je mehr Zeit verstreicht bis ein neuer Gichtsatz aufgegeben wird, desto tiefer sinkt der letzte Satz im Ofenschachte nieder, und desto schlechter wird die Wärme der Gase benützt. Je kleiner der Hohofen ist, desto empfindlicher muss derselbe in dieser Beziehung sein, weil die Temperatursteigerung nach unten

bei den kleinern Oefen rascher zunimmt als bei den grössern. Wie gross der diesbezügliche Wärmeverlust sich aus einigen Hohöfen in England beläuft, ist aus den von Herrn Bell bekannt gegebenen Beobachtungen von 2 Koakshohofen deutlich zu entnehmen, von denen der eine 15,000 und der andere 25,000 Kubikfuss Schachtinhalt hatte. Unmittelbar nach dem Aufgichten war die Temperatur der abziehenden Gichtgase bei beiden Oefen nahezu gleich, nämlich 204 bis 233°; aber nach $1^{1}/_{2}$ Stunden, der bei diesen Oefen gewöhnlichen Zeit von einer Begichtung zur andern, hatten die von dem kleinern Ofen fortgehenden Gase eine Temperatur von 560 bis 590° erreicht, während jene des grössern Ofens nur 455 bis 485° erlangten (alles nach Celsius-Graden gerechnet).

Zur Vermeidung unnöthiger Wärmeverluste soll man daher, wenn die Holzkohle so nass ist, dass sie sich an der Gicht nicht entzündet, sogleich einen Korb Kohle nachstürzen, sobald sich der dafür erforderliche Raum einstellt.

§ 28. Der durch die Kühlung der Formen mit Wasser verursachte Wärmeverlust scheint, nach den darüber angestellten und im Vorhergehenden angeführten Untersuchungen zu urtheilen, nicht besonders beachtenswerth, wenigstens in so lange als die Anzahl und der Umfang der Formen nicht grösser ist, als dies in Schweden gewöhnlich getroffen wird. Nothwendig aber muss dieser Wärmeverlust in dem Masse steigen, als die Formen durch das Ausbrennen des Gestelles von den Wänden mehr frei vorragen. In jedem Falle erscheint es nicht zweckmässig so viel Wasser durchzuleiten, dass dasselbe bei seinem Austritte aus den Formen sich noch als ganz kalt erweist, weil eine stärkere Abkühlung der Formen, als zu ihrem Bestande erforderlich ist, stets eine unnöthige, wenn auch gerade nicht bedeutende Abkühlung im Gestelle, und ausserdem ein öfteres Nasen der Formen verursacht.

Bei Hohöfen verschiedener Länder, wo man bemüht ist möglichst viele Formen anzuwenden, kann der durch die Wasserformen verursachte Wärmeverlust ein nicht unbedeutender werden. So z. B. sah man sich auf dem Thomas-Eisenwerke in Pennsylvania aus diesem Grunde veranlasst von

den zu Anfang der Schmelzcampagne vorgerichteten 23 Formen auf 11 Stück zurückzugehen.

§ 29. Was den Wärmeverlust durch den Tümpel und Vorherd betrifft, so ist klar, dass derselbe um so kleiner werden muss, je unbedeutender der Umfang der genannten Theile ist und je weniger durch das Ausarbeiten des Vorherdes eine Abkühlung herbei geführt wird. Das in dieser Beziehung Radikalste ist allerdings, wenn nach der in Steyermark üblichen Art der Hohofen mit geschlossener Brust zugestellt wird, wobei keine anderen Oeffnungen angebracht sind, als ein Stichloch am Boden für das Roheisen, und ein zweites Stichloch einige Zoll unter der Formhöhe für die Schlacke. Um zu verhindern, dass die Stichöffnung für die Schlacke nicht sobald durch die flüssige Schlacke angegriffen und so gestaltet zu sehr erweitert werde, wird dieselbe aus Eisen hergestellt und, ähnlich wie bei den Wasserformen, mit einer ringförmigen Höhlung versehen, durch welche zur Abkühlung Wasser geleitet wird. Diese sogenannten Lürmann'schen Schlackenformen haben bekanntlich in letzterer Zeit insbesondere in Deutschland eine ansehnliche Verbreitung gefunden, und wird behauptet dass damit sowohl eine verminderte Abkühlung des Gestelles, wie eine kürzere Unterbrechung des Betriebes beim Abstechen des Eisens, und somit nicht unbedeutende Vortheile erreicht werden.

§ 30. Die Grösse des durch die Aussenseiten des Ofens herbeigeführten Wärmeverlustes beruht zunächst auf der Dicke und dem Wärmeleitungsvermögen der Seitenwände, und ist deshalb bei einem aus Schlackenziegeln aufgeführten Hohofen (wie sie mitunter in Schweden vorkommen) grösser, als bei einem in gleicher Mauerdicke aus Sand- oder Thonziegel hergestellten, weil die zuletzt genannten Ziegel weniger wärmeleitend sind. Weiters muss der Verlust mit dem Verhältnisse der Begrenzungsoberfläche zum Kubikinhalt des Ofens sich ändern, so zwar, dass in einem weitern aber niedrigern Ofen der Verlust geringer ist, als bei einem Ofen von demselben Schachtinhalte, welcher zugleich aber enger und höher ist, daher eine grössere Aussenfläche bietet. Uebrigens richtet sich dieser Wärmeverlust selbstverständlich nach dem Temperaturunterschiede zwischen den innern

und äussern Seiten des Ofens, und ist deshalb im Winter etwas grösser als im Sommer; aber in derselben Jahreszeit und bei Darstellung eines gleichartigen Roheisens kann dieser Temperaturunterschied bei ein und demselben Ofen kaum so viel variiren, dass hierdurch die auf diesem Wege verloren gehende Wärmemenge merklich geändert werden könnte. Die auf diese Art in Verlust gelangende Wärme muss daher bei ein und demselben Hohofen eigentlich von der Zeit abhängen, und pr. Gewichtseinheit der verbrauchten Holzkohle oder des erzeugten Roheisens, somit in dem Verhältnisse kleiner werden, als der Gichtenwechsel oder die Erzeugung in der Zeiteinheit grösser wird.

§ 31. Es ist im Vorhergehenden bereits gezeigt worden, dass durch einen beschleunigten Gichtenwechsel das Vorwärmen der Schmelzmaterialien in den obern Theilen des Ofens vermindert wird, und wenn dem das soeben Angeführte, nämlich der geringere Wärmeverlust durch die Ofenwände pr. Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens bei beschleunigtem Gichtenwechsel, entgegen gehalten wird, so geht daraus deutlich hervor, dass die Aenderungen im Gichtenwechsel das wirksamste Mittel zur ungleichen Vertheilung der Wärme im Innern des Hohofens bieten; denn durch einen beschleunigten Gichtenwechsel kann die möglichste Concentrirung der Wärme in den untern Ofentheilen, entgegen durch einen verzögerten Gichtenwechsel eine mehr gleichförmige Vertheilung der Wärme durch den Ofen nach aufwärts bezweckt werden.

§ 32. Unter der Annahme, dass die Luft so viel Wasser enthalte als sie bei $+ 5^0$ aufzunehmen vermag, beträgt die durch Erwärmung des Windes dem Hohofen zugeführte Wärmemenge pr. Gewichtseinheit des in den Ofen gepressten Windes: $0{\cdot}2304 \times 0{\cdot}2182 + 0{\cdot}764 \times 0{\cdot}244 + 0{\cdot}0056 \times 0{\cdot}475 = 0{\cdot}239$ Wärmeeinheiten mit jedem Wärmegrad Celsius, welche der Wind in den Ofen mitbrachte. Die dem Hohofen auf diesem Wege zugeführte Wärmemenge, welche bei einer Windtemperatur von beispielweise 205^0 nach den vorhergehenden Wärmeberechnungen sich pr. Gewichtseinheit des aufgegichteten Brennmaterials mit 184·2 Wärmeeinheiten, oder auf 12·5 % der ganzen dem Hohofen zugeführten Wärme-

menge (1796·3 Wärmeeinheiten) beziffert, scheint jedoch keineswegs der damit in der Praxis erzielten Kohlenersparung zu entsprechen, welche bei der Anwendung des erwärmten Windes im allgemeinen sich als bedeutend grösser erweist.

Die meisten metallurgischen Schriftsteller, wie die Herren Tunner, Wedding, Percy u. m. a. haben dieses Verhalten durch die lebhaftere Verbrennung zu erklären gesucht, welche durch die Erwärmung des Windes verursacht werden soll. Die totale Wärmemenge des Ofens kann jedoch durch eine solche lebhaftere Verbrennung nicht vermehrt werden; denn, wenn man auch annehmen will, dass der warme Wind in dem Focus der Verbrennung diese vollständiger macht, mehr Kohlensäure produzirt, als dies bei der Verbrennung mit kaltem Winde der Fall ist, so wird dadurch ein eigentlicher Gewinn an Wärme doch nicht erreicht, es wäre denn, dass die sogestaltet erzeugte Kohlensäure in der Berührung mit der weissglühenden Kohle nicht wieder zu Kohlenoxyd reduzirt würde. Allein diese Reduktion scheint jedenfalls einzutreten, indem die bisher ausgeführten Analysen der Hohofengase zeigen, dass sowohl bei dem erwärmten wie bei dem kalten Winde die in dem Verbrennungs-Fokus vorerst gebildete Kohlensäure von der damit in Berührung kommenden, weissglühenden Kohle ausserhalb des Fokus unverzüglich wieder zu Kohlenoxyd reduzirt wird, daher die Wärmeerzeugung im Ganzen in dem einen wie im andern Falle nicht grösser wird, als wenn der ganze in dem Winde enthaltene Sauerstoff vom Anfange an lediglich zur Erzeugung von Kohlenoxyd verwendet worden wäre. Der Einfluss der durch den warmen Wind veranlassten lebhaftern Verbrennung muss sich daher auf eine engere Begrenzung des Fokus beschränken, innerhalb dessen die Wärme mehr koncentrirt wird.

Innerhalb des Fokus sind die Gase bekanntlich oxydirend, und die Einschränkung dieses eigentlichen Verbrennungsraumes kann daher, besonders bei Anwendung einer hohen Windpressung, unzweifelhaft von Nutzen sein. Vornämlich bei der Anwendung von Koaks mag diese Einschränkung vortheilhaft sein, weil durch dieses dichte

Brennmaterial die Reduktion der gebildeten Kohlensäure nicht mit derselben Leichtigkeit und nicht so schnell erfolgen kann wie durch die Holzkohle, obschon mit der gesteigerten Temperatur auch die reduzirende Kraft der Koaks wachsen muss. In diesem Unterschiede dürfte auch die Ursache zu suchen sein, weshalb der Gebrauch des warmen Windes bei Koakshohöfen von noch grössern Vortheilen als bei Holzkohl-Hohöfen ist. Uebrigens kann die Einschränkung des Verbrennungsraumes bei den mit Holzkohle betriebenen Hohöfen gleichfalls von einigem Vortheil sein, und überdies hat der warme Wind jedenfalls das für sich, dass die Formmündung leichter rein zu halten ist. Allein, wenn die durch den warmen Wind erlangte Kohlenersparung bei dem Wärmegewinn, welcher nach der gewöhnlichen Berechnung dem Hohofen zugeführt wird, wirklich nur der Wirkung durch die Einschränkung des Verbrennungsraumes zugeschrieben werden soll, wie es bei einer oberflächlichen Betrachtung sich darstellt, so wäre diese Wirkung in der That unerwartet gross.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass diejenige Wärme, welche dem Hohofen durch die Erwärmung des Windes zugeführt wird, sich gegenüber der durch Verbrennung von Kohle im Ofen produzirten Wärme ganz anders verhält, als bisher angenommen wurde; denn es ist bisher immer übersehen worden, dass bei der Verbrennung der Kohle ein (von dem Wärmegrad der abziehenden Gichtgase abhängiger) Theil der dabei erzeugten Wärme dem Ofen nicht zu gute kommt, wogegen die mit dem warmen Wind zugeführte Wärme fast ohne allen Abzug im Ofen aufgebraucht werden kann. Durch die mit dem warmen Wind dem Ofen zugeführte Wärme ist nämlich im Hohofen nicht um einen Kubikzoll mehr Gas entstanden, als dies bei Verwendung eines eiskalten Windes zur Verbrennung derselben Kohlenmenge der Fall ist. Wenn daher der dem Ofen verbleibende Wärmeüberschuss richtig zu gute gebracht wird, so brauchen die abziehenden Gichtgase nicht mehr Wärme abzuführen, als bei kaltem Winde geschieht. Ganz anders stellt sich die Sache, wenn durch eine vermehrte Kohlaufgabe, oder was dasselbe ist, durch Verbrennung von mehr

Kohle, die durch den warmen Wind in den Ofen gebrachte Wärme ersetzt werden muss; denn das kann nicht geschehen ohne die Gasmenge zu vermehren, welche Vermehrung durch das Mehr der verbrannten Kohle und die zu deren Verbrennung erforderliche Luftmenge unvermeidlich ist, und in dem Verhältniss als diese vermehrten Verbrennungsprodukte von dem Ofen wärmer abziehen, muss der im Ofen verbleibende Theil, die aus diesem Mehr der Kohle erzeugte Wärme kleiner werden.

Um dieses Verhalten besser zu beleuchten soll nun untersucht werden, wie gross das Mehr der Kohlenersparung ist, welches in Folge dessen durch den warmen Wind bei einem Hohofen herbeigeführt wird, der unter solchen Verhältnissen arbeitet, wie sie bei den vorstehenden Wärmeberechnungen in § 7 u. s. w. angenommen worden sind.

Da die Holzkohle besteht aus: 82% Kohlenstoff, 2% Asche, 10% Wasser und 6% von in höherer Temperatur austreibbaren Gasen, die selbst wieder bestehen aus 55·9% Kohlensäure, 22·8% Kohlenoxyd, 11·8% Sumpfgas, 1% Wasserstoff und 8·5% Stickstoff, so wird zur Verbrennung zu Kohlenoxyd für den in 1 Pfd. Holzkohle enthaltenen Kohlenstoff an Sauerstoff 1·0933 Pfund benöthigt, welcher in 4·6444 Pfd. Luft enthalten ist. Nebst dem Sauerstoff ist in dieser Luftmenge enthalten: 3·5483 Pfd. Stickstoff, und in der aufgenommenen Menge Wassergas sind 0·0028 Pfd. Wasserstoff enthalten. Das durch die Verbrennung von 1 Pfd. Holzkohle mit Luft zu Kohlenoxyd gebildete Gasgemisch besteht sonach aus:

$0·06 \times 0·559$	$= 0·0335$	Pfd.	Kohlensäure,
$0·06 \times 0·228 + 0·82 \times 14 : 6$	$= 1·9270$	„	Kohlenoxyd,
$0·06 \times 0·118$	$= 0·0071$	„	Sumpfgas,
$0·06 \times 0·01 + 0·0028$	$= 0·0034$	„	Wasserstoff,
$0·06 \times 0·085 + 3·5483$	$= 3·5534$	„	Stickstoff u.
	$0·1000$	„	Wassergas.

Die bei dieser Verbrennung erzeugte Wärme beträgt pr. Gewichtseinheit der Holzkohle:

$0·82 \times 2473 - 0·0028 \times 29638 = 1945·3$ W.-E. Zur Vergasung des in der Holzkohle enthaltenen Wassers sind

dagegen 63·1 Wärmeeinheiten erforderlich, und die mit den Gichtgasen abgeführte Wärme beläuft sich auf:

$(0{\cdot}0335 \times 0{\cdot}2164 + 1{\cdot}9270 \times 0{\cdot}2479 + 0{\cdot}0071 \times 0{\cdot}5929 + 0{\cdot}0034 \times 3{\cdot}4046 + 3{\cdot}5534 \times 0{\cdot}244)\,450 + 0{\cdot}1 \times 0{\cdot}475 \times 350 = 1{\cdot}368 \times 450 + 16{\cdot}6 = 632{\cdot}2$ Wärmeeinheiten. Die für jedes Pfund der in dieser Weise mehr verbrannten Holzkohle vom Ofen fortgehende Wärmemenge beträgt sonach $63{\cdot}1 + 632{\cdot}2 = 695{\cdot}3$ Wärmeeinheiten; und der in Frage stehende Wärmeeffekt, der pr. Pfd. Holzkohle im Hohofen zu gute gebracht worden ist, stellt sich sonach auf $1945{\cdot}3 - 695{\cdot}3 = 1250$ Wärmeeinheiten, oder auf 64·26 % der durch Verbrennung von 1 Pfd. extra zugesetzten Holzkohle erzeugten Wärmemenge.

Im Vorhergehenden ist bereits nachgewiesen worden, dass die Wärmemenge, welche mit einer Windtemperatur von 205° einem unter den angenommenen Verhältnissen arbeitenden Hohofen zugeführt wird 10·2 % aller derjenigen Wärme beträgt, welche dem Ofen zu Theil geworden ist. Wenn dazu nun das soeben erörterte Verhalten, dass nämlich blos 64·26 % aus der Verbrennung der im Hohofen extra zugesetzten Kohle zu gute gebracht werden, so ist klar, dass die mit dem erwärmten Winde erreichte Brennmaterialersparung nicht auf diese 10·2 % sich beschränkt, sondern dass dieselbe, unbeachtet der durch eine lebhaftere Verbrennung möglicher Weise gewonnenen Vortheile sich berechnet auf $10{\cdot}2 : 0{\cdot}6426 = 15{\cdot}87$ % des bei kaltem Winde erforderlichen Brennstoffbedarfs.

§ 33. Aus dem Angeführten tritt zugleich die Ursache klar hervor, warum die durch den warmen Wind gewonnene Brennmaterialersparung, bei ungleich grossen und sonst unter verschiedenen Verhältnissen arbeitenden Hohöfen, so sehr verschieden ist; denn in demselben Verhältniss, in welchem der Wärmeeffekt des aufgegichteten Brennmateriales innerhalb des Ofens vollständiger zu gute gebracht wird, muss die durch Erwärmung des Windes bewirkte Ersparung sich geringer stellen, und ebenso umgekehrt.

Je kleiner der Hohofen ist und je tiefer unter der Gicht die Hohofengase abgezogen werden, eine desto grössere Brennmaterialersparung muss sich demnach durch die Er-

wärmung des Windes erreichen lassen; und umgekehrt, je grösser der Hohofen, je näher der Gicht die Gase abgefangen werden, desto geringer muss sich der Einfluss des erhitzten Windes auf den Kohlverbrauch erweisen. Könnte man dahin gelangen, dass die Temperatur der vom Hohofen abziehenden Gase nicht höher als die der äussern Luft wäre, und dass das angewandte Brennmaterial keine solchen flüchtigen Bestandtheile mitführte, deren Vergasung Wärme konsumirt, dann allerdings würde die Erwärmung des Windes keinen viel grössern Vortheil mit sich bringen, als der Kohlenmenge entspricht, welche bei ihrer Verbrennung eben so viele Wärmeeinheiten erzeugt, als mit dem erwärmten Wind in den Ofen geführt werden. Nachdem aber eine so vollständige Ausnützung des Wärmeeffektes vom aufgegichteten Brennmateriale, selbst bei den allergrössten Hohöfen nicht zu erreichen ist, so muss die Erwärmung des Windes immer eine Brennmaterialersparung mit sich führen, selbst in jenen Fällen, wo die Hohofengase anderweitig sehr gut verwendet werden könnten.

Weiters erhellt aus dem Verhergehenden, dass je grösser die Menge der die flüchtigen Bestandtheile des Brennmateriales, namentlich je mehr wasserhältig dasselbe ist, desto grösser muss der Einfluss des erhitzten Windes sein, weil bei der Vergasung dieser flüchtigen Bestandtheile eine beträchtliche Wärmemenge gebunden und mit den Gasen abgeführt wird, wie aus den vorstehenden Berechnungen ziffermässig nachgewiesen erscheint.

Selbst der Wassergehalt der Luft muss die Wirkung des erwärmten Windes in der Weise beeinflussen, dass die Brennstoffersparung bei einer bestimmten Windtemperatur um so grösser ausfallen muss, je mehr Wasser die Luft enthält. Die Ursache dafür ist leicht gefunden, wenn man sich erinnert, 1) dass der Wassergehalt der Luft, aus den in § 21 angeführten Gründen, stets die Temperatur im Ofen erniedrigt, daher in dem Masse als die Luft mehr Wasser enthält es um so vortheilhafter sein muss, wenn in Folge des Gebrauches von erhitztem Winde pr. Gewichtseinheit des erzeugten Roheisens weniger Luft einzublasen erforderlich ist; und 2) dass die spezifische Wärme des

Wasserdampfes eine sehr bedeutende ist, daher die einer gewissen Temperatur entsprechende Wärmemenge des Windes um so grösser sein muss, je mehr wasserhältig die Luft ist.

Schliesslich mag hier noch besonders auf folgendes Verhalten aufmerksam gemacht werden. Da bei dem Umstande, dass die Einwirkung des erhitzten Windes auf den Kohlverbrauch von der pr. Gewichtseinheit des Roheisens eingeblasenen Windmenge abhängt, diese aber wieder auf der bei derselben Einheit erforderlichen Menge an Kohle basirt, welche durch den Wind zu verbrennen ist, so muss die durch den warmen Wind erzielte Kohlersparung, wenn dieselbe nicht in Procenten des bei kaltem Winde erforderlichen Brennmateriales, sondern nach dem Masse oder Gewichte berechnet wird, in demselben Verhältniss geringer werden, als der Kohlbedarf schon zuvor bei dem Betrieb mit kaltem Winde ein kleinerer war. Ferner folgt daraus, dass nicht für jeden Wärmegrad, um den die Temperatur des Windes gesteigert wird, gefordert werden kann, dass dieselbe Brennmaterialersparung in Tonnen oder Centnern erreicht werde, sondern dass in dem Verhältnisse, in welchem die Anzahl der Wärmegrade wächst, die Brennmaterialersparung etwas geringer werden muss, weil der Gewinn an Brennmaterial ungefähr dasselbe Procent von dem bei jedem Grad der gesteigerten Windtemperatur verminderten Kohlbedarf beträgt. Aber in demselben Verhältnisse als der Brennmaterialverbrauch nach dem Volumen berechnet, hinter der in Graden proportional gesteigerten Windtemperatur zurückbleibt, in demselben Verhältnisse übersteigt dagegen, bei einem unveränderten Kohlensatze die Zunahme des aufzubringenden Erzsatzes die in Graden proportional gesteigerte Windtemperatur, wie am besten aus folgendem Beispiele zu ersehen sein dürfte. Angenommen, es betrage die bei einer Windtemperatursteigerung von 100° erreichte Brennstoffersparung 10% von der zuvor erforderlichen Kohlenmenge, und bezeichnet man mit a den Brennstoffverbrauch pr. 1 Ctr. Roheisen und 0° Windtemperatur, und den auf diese Kohlenmenge aufgegichteten Erz- oder Beschickungs-Satz mit b, so ist:

bei 0° Windtpt.		der Kohlebedarf a	die Kohlersp.	der Erzsatz b
„ 100°	„	0·90 a,	0·10 a,	1·11 b,
„ 200°	„	0·9 × 0·90 a = 0·81 a,	0·19 a,	1·23 b,
„ 300°	„	0·9 × 0·81 a = 0·729 a,	0·271 a,	1·37 b,
„ 400°	„	0·9 × 0·729 a = 0·656 a,	0·344 a,	1·52 b,
„ 500°	„	0·9 × 0·656 a = 0·59 a,	0·41 a,	1·69 b,
„ 600°	„	0·9 × 0·59 a = 0·531 a,	0·469 a,	1·88 b.

Die für je 100 Grade, um welche die Windtemperatur gesteigert wird, entfallende Kohlersparung wird daher

für die ersten 100° sich belaufen auf (0·10 — 0) a = 0·10 a,
„ „ zweiten „ „ „ „ (0·19 — 0·10) a = 0·09 a,
„ „ dritten „ „ „ „ (0·271 — 0·19) a = 0·081 a,
„ „ vierten „ „ „ „ (0·344 — 0·271) a = 0·073 a,
„ „ fünften „ „ „ „ (0·41 — 0·344) a = 0·066 a,
„ „ sechsten „ „ „ „ (0·469 — 0·41) a = 0·059 a.

während der aufgegichtete Erzsatz bei unverändertem Kohlsatz

bei den ersten 100° sich vermehrt um (1·11 — 1·) b = 0·11 b,
„ „ zweiten „ „ „ „ (1·23 — 1·11) b = 0·12 b,
„ „ dritten „ „ „ „ (1·37 — 1·23) b = 0·14 b,
„ „ vierten „ „ „ „ (1·52 — 1·37) b = 0·15 b,
„ „ fünften „ „ „ „ (1·69 — 1·52) b = 0·17 b,
„ „ sechsten „ „ „ „ (1·88 — 1·69) b = 0·19 b.

§ 34. Wie bereits gezeigt wurde, wird durch die Erwärmung des Windes dem Hohofen Wärme zugeführt, ohne gleichzeitig die Gasmenge zu vermehren. Wenn nun angenommen wird, dass gestrebt werden soll, bei der Anwendung des warmen Windes so nahe als möglich dieselbe Beschaffenheit des Roheisens wie bei dem Gebrauche des kalten Windes zu erlangen, so wird zunächst jedenfalls der Erzsatz so hoch gehalten werden müssen, als dies der im Roheisen gewünschte Grad der Gaare und ein reiner Hohofengang verlangen. Also jedenfalls wird bei ungeändertem Kohlensatz und der Anwendung eines erwärmten Windes der Erzsatz grösser als er bei kaltem Winde war, und in Folge dessen muss bei dem Gebrauch eines erhitzten Windes die pr. Gewichtseinheit der aufgegichteten Erze entfallende Gasmenge im Hohofen geringer werden, als bei Verwendung eines kalten Windes. Nachdem aber die Reduktion der Erze, wenigstens vornämlich durch die Gase bewirkt wird, so muss diese Reduktion in dem Masse erschwert werden, in welchem das Mengenverhältniss zwischen den reduzirenden Gasen und den Erzen kleiner wird. Je

unvollständiger reduzirt die Erze in das Hohofengestell einrücken, desto mehr Wärme muss sich im Gestelle zur Erhaltung eines reinen Hohofenganges vorfinden. Aus diesem Grunde ist es kaum zulässig die Erzmenge vollends entsprechend der mit dem Winde zugeführten Wärmemenge zu vermehren.

In dem Masse als mit einer höhern Windtemperatur gearbeitet wird, muss sich sonach auch ein etwas grösserer Wärmeüberschuss im Hohofengestelle vorfinden. Hierzu kommt überdies noch anzuschliessen die vorhin erörterte Wärmekoncentrirung, welche eine Folge der raschern Verbrennung bei der Benutzung des erhitzten Windes ist. Wenn daher die Windtemperatur erhöht wird, muss ungeachtet der zulässigen Erhöhung des Erzsatzes, in der Nähe der Formen eine etwas höhere Temperatur obwalten; je höher aber die Temperatur daselbst ist, desto mehr Silicium und Erdenmetall, wie Calcium, Magnesium und Aluminium, muss bei ein und derselben Beschickung ausreduzirt, desto unreiner oder eisenarmer muss das dabei erhaltene Roheisen werden. Nachdem sowohl die höhere Windtemperatur an und für sich, wie der vermehrte Siliciumgehalt des Roheisens, die Ausscheidung des Kohlenstoffes als Grafit befördern, so erhält das Roheisen in dem Masse eine grössere Geneigtheit grau zu werden, als die Windtemperatur eine höhere ist. Da ferner auch das Mangan zu jenen Körpern gehört, die zu ihrer Reduktion eine sehr hohe Temperatur fordern, so wird im Falle die Beschickung manganhältig ist, der erwärmte Wind zur Darstellung eines manganreichern Roheisens beitragen. Endlich wird durch eine hohe Temperatur die Entfernung des Schwefels vom Eisen befördert, welcher als Schwefelcalcium in die Schlacke übertritt; daher je heisser der Wind zur Verwendung gelangt, desto schwefelfreier wird das Roheisen werden, um so mehr als bei erhitztem Winde durch die Brennmaterialersparung auch weniger von dem im Brennmaterial enthaltenen Schwefel aufgegichtet wird, was insbesondere bei schwefelreichen Koaks von Einfluss sein kann.

Nach diesen Erörterungen wäre es wohl nicht zu rechtfertigen, wollte man, wie es bisweilen geschieht, den Einfluss des warmen Windes auf die Beschaffenheit des Roheisens gänz-

lich läugnen; aber auf der andern Seite wird der in Rede stehende Einfluss noch häufiger viel zu hoch angeschlagen, so zwar, dass man aus Furcht vor einer Verschlechterung des Roheisens, an einigen Stellen, auf die Vortheile des warmen Windes und die damit verbundene Brennmaterialersparung und leichtere Regulirung des Hohofenganges gänzlich verzichtet, obgleich diese Vortheile schon bei einem solchen Grade der Windtemperatur merklich werden, bei dem eine Einwirkung auf die Beschaffenheit des Roheisens füglich nicht anzunehmen ist. Denn, obgleich durch den warmen Wind die pr. Gewichtseinheit des Erzsatzes entfallende Gasmenge sehr bald merklich geändert wird, so ist im Hohofen, wenn nicht ein wahrer Ueberfluss, doch jedenfalls ein solcher Reichthum an reduzirenden Gasen vorhanden, dass eine geringe Abnahme in der Gasmenge unmöglich schon einen wahrnehmbaren Einfluss auf die Beschaffenheit des Roheisens ausüben kann. Wenn jedoch die Windtemperatur sehr hoch ist, dann allerdings treten so bedeutende Aenderungen in der Menge der reduzirenden Gase, wie in der Koncentrirung der Wärme ein, dass man bei sonst ungeändertem Hohofengang nicht erwarten kann, ein ebenso siliciumarmes Roheisen zu erhalten, wie es bei kaltem Winde und derselben Erzgattirung oder Beschickung der Fall ist. Wenn man dagegen wünscht, von zwei ungleichen Beschickungen ein möglichst gleiches Roheisen darzustellen, so wird natürlich die von beiden mehr basische Beschickung eine höhere Windtemperatur vertragen, als die mehr kieselerdehaltige.

§ 35. Unter der Annahme, dass der Ausdehnungs-Coefficient der Luft = 0·00367 ist, und bei einer auf t^0 gesteigerten Windtemperatur die gleiche Gichtenzahl erreicht werden soll, muss das in den Ofen gepresste Windvolumen $(1 + 0{\cdot}00367\,t)$ mal grösser sein, als bei kaltem Winde. Wenn daher mit warmem Wind geblasen werden soll, so stellt sich die Beschaffung stärkerer Gebläsemaschinen als nothwendig dar. Es soll hier zunächst, jedoch unter der Voraussetzung eines unbegrenzten Windvermögens, untersucht werden, ob der Gichtenwechsel in Folge der Winderhitzung in einer oder der andern Weise modifizirt werden soll.

Im Vorausgesandten ist schon angedeutet worden, wie

der geringste Kohlenbedarf in einem Hohofen von jenem Gichtenwechsel abhängig ist, welcher unter den gegebenen Verhältnissen so zu sagen das Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Zonen dergestalt herstellt, dass wenn aus irgend einer Ursache dieser Gichtenwechsel bemerkenswerth vermindert oder vermehrt wird, der Kohlenbedarf in beiden Fällen sich höher stellt: u. zw. bei einer Verminderung, weil zur gehörigen Erwärmung des untersten Ofentheiles, des Gestelles, eine besondere Kohlenmenge geopfert werden muss, und bei einer Vermehrung, weil die dadurch verminderte Reduktion in den obern Ofentheilen einen Kohlenverlust zur Folge hat. Da ferner nachgewiesen wurde, dass durch die Erwärmung des Windes, wegen der dadurch bewirkten Verminderung der reducirenden Gase, die Reduktion ebenfalls beeinträchtigt wird, so ist klar, dass die Beschleunigung des Gichtenwechsels und die Erwärmung des Windes in dieser Beziehung denselben unvortheilhaften Einfluss haben. Daraus folgt, dass zur Einhaltung einer möglichst ungeänderten Roheisenqualität es nothwendig wird, den Gichtenwechsel in dem Verhältnisse etwas zu vermindern, als der Wind höher erhitzt in den Ofen gelangt. Hiermit ist jedoch keineswegs gesagt, dass der Gichtenwechsel in dem Grade vermindert werden sollte, dass die in der Zeiteinheit dargestellte Roheisenmenge unverändert bleibt; denn durch das in Folge des erhitzten Windes ansehnlich vermehrte Tragvermögen an Erzen bei unverändertem Kohlensatze kann die Roheisenproduktion sogar etwas gehoben werden, obschon nicht um so viel, als bei unveränderter Gichtenzahl sich herausstellen müsste.

Zur bessern Verdeutlichung der eben ausgesprochenen Ansicht soll noch einmal darauf hingewiesen werden, wie dabei von der Annahme ausgegangen wurde, dass ein gewisser Gichtenwechsel bei dem mit kaltem Winde arbeitenden Hohofen für die gewünschte Roheisenqualität der dienlichste sei. Wäre das nicht der Fall, sondern müsste man bei dem Gebrauche des kalten Windes, aus einer besondern Ursache, sich mit einem schwächern Gichtenwechsel begnügen, so ist klar, dass der Gichtenwechsel bei Anwendung eines stärker erhitzten Windes nicht nur ungeändert zu belassen sei, sondern nach Umständen sogar ein vermehrter Gichten-

wechsel von Nutzen sein kann. Solche besondere Ursachen können sein: eine so strengflüssige Beschickung, dass es bei dem Blasen mit kaltem Winde kaum möglich ist, die Formen gehörig rein zu erhalten; oder das Vorhandensein einer zu schwachen Gebläsmaschine, welche bei der Einführung des erhitzten Windes jedoch verbessert worden ist.

Schliesslich werden hier, aus den Jernkontorets Annaler entnommen, einige Beispiele von Betriebsresultaten angeführt, welche durch den Gebrauch des erhitzten Windes bei verschiedenen Hohöfen in Schweden erlangt worden sind.

In 5 Hohöfen des Norberger Bergdistriktes, welche durchschnittlich je 146 Tonnen (132—164) Rauminhalt haben, wurden im Jahre 1854 bei kaltem Winde die in der Reihe *a* aufgestellten Durchschnitts-Resultate erzielt; wogegen in der Reihe *b* die Durchschnitts-Resultate von 5 andern Hohöfen desselben Bergdistriktes aufgeführt sind, welche durchschnittlich 160 Tonnen fassen und mit einem auf 160°—200° erhitzten Winde betrieben wurden.

	Kohlenverbrauch pr. Ctr. Roheisen.	Roheisen-Ausbringen aus der Beschickung.	Roheisenerzeugung in 24 Std.	Durchsetzquantum.
a)	2·20 T.	38·2 %	102·8 Ctr.	246·2 T.
b)	1·75 „	40·4 „	131·5 „	232·1 „

Bei diesen kleinen Hohöfen des Norberg-Distriktes hat demnach eine Winderhitzung von 160—200° und eine unbedeutende Vermehrung des Rauminhaltes eine Brennmaterialersparung von 24·5%, eine Produktionsvermehrung von 28%, dagegen eine nur kleine Vergrösserung des Rauminhaltes eine Verminderung der verbrauchten Kohlenmenge, d. i. eine Verminderung des Gichtenwechsels von 5·7 % zur Folge gehabt.

Die 7 Hohöfen im Kirchsprengel von Nora, welche im Jahre 1851 zur Anwendung des erwärmten Windes übergingen, dessen Temperatur jedoch nicht näher angegeben wird, zeigten im Durchschnitte einen um 22·8 % mindern Kohlenbedarf, als die 4 Hohöfen desselben Sprengels, welche mit kaltem Winde betrieben wurden.

§ 36. In den vorstehenden Erörterungen ist bereits gezeigt worden, dass das von ein und derselben Beschickung erblasene Roheisen, in dem Verhältniss, als mit höherer Windtemperatur geblasen wurde, meist etwas reicher an

Silicium und Erdmetallen, sowie auch an Mangan ausfällt, falls letzteres in der Beschickung enthalten ist. Da die Erdmetalle im Roheisen, im Vergleich mit dem Silicium, gewöhnlich in sehr geringer Menge vorkommen; da ferner der Mangangehalt der Beschickung selten grösser ist, als im Roheisen gern gesehen wird; und wenn überdies hier der Einfluss des erhitzten Windes auf die Art des Vorkommens der Kohle im Roheisen zunächst ausser Frage gelassen wird: so ist aller Grund für die Forderung vorhanden, dass man zur Erreichung einer möglichst grossen Kohlenersparung im Allgemeinen mit der Erhitzung des Windes so hoch gehen soll, als dies nach dem gewünschten Siliciumgehalt im Roheisen zulässig erscheint.

Dass übrigens der Siliciumgehalt des Roheisens nicht allein von dem Grade der Erhitzung des bei seiner Darstellung verwendeten Windes, sondern ingleichen von dem Grade des Kieselerdegehaltes in der Beschickung abhängig ist; dass daher für ein und dieselbe Sorte Roheisen ein um so höher erhitzter Wind angewendet werden darf, als die Beschickung mehr basisch (weniger kieselerdehaltig) ist, wird hier als allgemein bekannt vorausgesetzt und deshalb nur im Vorbeigehen berührt.

§ 37. Aus dem zuletzt aufgestellten Satze folgt, dass bei der Darstellung des Bessemer-Roheisens mit Holzkohle, es vortheilhaft sein muss, mit einer viel höhern Windtemperatur zu blasen, als dies bisher gewöhnlich geschieht. Denn, theils wird das Roheisen selbst hierdurch hitziger, obgleich es n Folge des vermehrten Graphites dickflüssiger und deshalb mehr zum Abkühlen geneigt wird, und theils wird das Roheisen dadurch silicium- und manganreicher, was für die Verwendung dieses Roheisens von grösstem Gewichte ist, indem Silicium und Mangan mehr als irgend ein anderer Körper zur Erzielung eines warmen Ganges, d. i. zur Temperatursteigerung bei dem Bessemerprozess beitragen.

Dass dieser, ausserhalb Schweden allgemein anerkannte Einfluss eines vermehrten Siliciumgehaltes im Roheisen, auf den schwedischen Bessemerhütten nicht so allgemein bestätigt wird, beruht wahrscheinlich auf den daselbst angewendeten schwachen Motoren der Bessemergebläse; denn theils dürfte ein grösserer Siliciumgehalt im Roheisen dessen Leichtfrisch-

barkeit derart vermindern, dass eine vermehrte Windpressung mit einer gleichzeitigen Erhöhung des Roheisenbades erforderlich wird, und theils ist die Temperatur nicht allein von der Menge der wärmeerzeugenden Körper, sondern ebenso auch von der Zeit abhängig, innerhalb welcher die Verbrennung geschieht. Daraus folgt, dass im Falle die Gebläsemaschinen nicht stark genug sind, um die zu einem raschen Abschluss des Frischens erforderliche Windmenge in das siliciumreiche Roheisen einpressen zu können, der Prozess leicht so viel verzögert wird, dass der „Gang" durch die während der Zeit verursachte Abkühlung von aussen nicht nur nicht wärmer, sondern im Gegentheil kälter wird, als wenn das Roheisen leichtfrischender ist, u. zw. um so mehr, als das siliciumreiche Roheisen gewöhnlich auch graphithältiger und dadurch dickflüssiger ist und dem Winde mehr Widerstand leistet. Dieses ist jedoch eine Schwierigkeit, welcher durch stärkere Gebläsmaschinen abgeholfen werden kann, und wenn dies geschehen ist, wird man sonder Zweifel auch in Schweden allenthalben sich überzeugen, dass durch einen höhern Siliciumgehalt im Roheisen der warme Gang beim Bessemern befördert wird.

§ 38. Ausser dem Bessemer-Roheisen scheint eine hohe Windtemperatur (circa 500°) auch bei der Darstellung jenes Roheisens von grossem Nutzen zu sein, welches zum Umschmelzen und sofortiger Darstellung gewöhnlicher Gusswaaren bestimmt ist, weil in diesem Roheisen ein grösserer Graphitgehalt und mindestens 1% Silicium erwünscht ist. Es ist allerdings richtig, dass ein solches Gussroheisen keine so grosse Festigkeit besitzt wie ein minder gaares Roheisen, weil ersteres weniger gebundenen Kohlenstoff, dagegen mehr Graphit mechanisch eingemengt enthält, wodurch die Dichtigkeit vermindert wird, und weil wahrscheinlich auch dessen grösserer Siliciumgehalt die Festigkeit beeinträchtigt. Allein auf der andern Seite ist die absolute Festigkeit für die gewöhnlichen Gusswaaren von keinem so grossen Werth, wie es die Vermeidung einer zu harten, spröden Beschaffenheit ist, welche Sprödigkeit dadurch am besten vermieden wird, wenn das Roheisen so viel Silicium und Graphit besitzt, dass es beim Umschmelzen und sofortigen Ausgiessen in dünnern Partien

sich nicht abhärtet, nicht weiss wird. Dazu kommt noch die auf den meisten Giessereien sehr geschätzte Eigenschaft des silicium- und graphitreichen Roheisens, dass es in dem Masse, als es daran reicher ist, beim Umschmelzen einen grössern Zusatz von Brucheisen und Eisenschrot verträgt.

§ 39. Wenn dagegen ein Roheisen für grössere Gussstücke dargestellt werden soll, von denen eine möglichst grosse Festigkeit gefordert wird, so soll mit einer weniger hohen Windtemperatur geblasen werden, insbesondere dann, wenn diese Stücke direkt vom Hohofen gegossen werden. Ein solches Gusseisen soll nämlich weder silicium- noch graphitreich, sondern von einem derartigen Grade der Gaare sein, dass die daraus erzeugte Gusswaare im Bruche fein gesprenkelt erscheint, oder ein feines Netz von grauen Maschen mit lichten, aber doch nicht gänzlich weissen, kleinen Zwischenräumen zeigt. Der in diesem Roheisen abgeschiedene Graphit soll übrigens für das Auge in möglichst unmerklichen Partien, nicht in grossen, glänzenden Schuppen erscheinen, wozu ein höherer Wärmegrad im Eisen (besonders aber ein langsames Erstarren und Erkalten) die meiste Veranlassung zu geben scheint.

§ 40. Keine Roheisensorte dürfte übrigens so empfindlich für den Einfluss des erhitzten Windes sein, wie das zur Adoucirung bestimmte; denn wenn dessen Siciliumgehalt nicht ganz unbedeutend ist, so zeigt es sich, dass das vor der Adoucirung hellweisse Roheisen bei dem genannten Prozess sehr geneigt ist, im Innern einen grauen Kern abzusondern, welcher Umstand Veranlassung ist, dass viele Roheisensorten zu dem Endzwecke nicht zu gebrauchen sind.

§ 41. Zur Ermittlung des wünschenswerthen Siliciumgehaltes in demjenigen Roheisen, welches für den Puddlingsprozess bestimmt ist, wenigstens so wie dieser Prozess zu Motala betrieben wird, sind eine Menge Proben angestellt worden, aus welchen hervorzugehen scheint, dass in derartigem Roheisen ein Siliciumgehalt zwischen 0·22 und 0·5% der entsprechendste ist. Dasselbe Verhalten scheint auch bei jenen Roheisensorten obzuwalten, die zur Verfrischung mittelst der Franche-Comté und der deutschen Frischmethode bestimmt sind, bei deren Darstellung eine bedeutend höhere

Windtemperatur wohl kaum zweckmässig sein dürfte. Dagegen für die Lancashireschmiede ist jedenfalls ein bei geringerer Temperatur erblasenes Roheisen angezeigt, dessen Siliciumgehalt nur bei 0·2 bis 0·3 % beträgt, bei dessen Erzeugung eine höhere Windtemperatur folglich um so weniger in Frage kommen kann. Namentlich, wenn die Beschickung nicht mehr als gewöhnlich basisch eingerichtet ist, dürfte nach Ansicht des Verfassers die bei den schwedischen Hohöfen bisher angewendete Windtemperatur von circa 200° C. zweckmässiger Weise nicht viel überschritten werden.

§ 42. Da bis auf weiteres wenigstens der grösste Theil des in Schweden producirten Roheisens vornämlich für die Lancashireschmiede bestimmt ist, so scheint es, dass die dermalen daselbst gebräuchlichen Winderhitzungsapparate ihrem Zwecke ganz entsprechen; allein theils ist bereits gezeigt worden, dass bei mehreren von den übrigen Roheisensorten, die ebenfalls auf den schwedischen Hütten erzeugt werden, eine weit höhere Windtemperatur zulässig wäre, und theils müsste es zur Erhaltung eines gleichförmigen Hohofenganges von offenbarem Vortheil sein, wenn die Erhitzungsapparate so stark wären, dass man bei dem Beginnen einer Störung im Hohofengang ohne Schwierigkeit die Windtemperatur um ein paar hundert Grade über ihre gewöhnlich gebrauchte Höhe treiben könnte. Aus diesen Gründen verdienen auch unter den in Schweden obwaltenden Verhältnissen die stärkeren Winderhitzungsapparate die volle Aufmerksamkeit.

Welches ausgezeichnete Mittel zur Regulirung des Hohofenganges durch den erhitzten Wind zu erlangen ist, kann am besten aus den vorausgeschickten Berechnungen entnommen werden, durch welche nachgewiesen erscheint, dass in einem unter den angenommenen Verhältnissen arbeitenden Hohofen mit einer um 100° gesteigerten Windtemperatur, demselben mindestens so viel Wärme zugeführt wird, als 8 % des angewendeten Brennmaterials entspricht. Eine Vermehrung der Windtemperatur um 100° über die zuvor benützte Temperatur muss daher in diesem Falle für den Hohofen ganz dieselbe Wirkung haben, welche sonst durch einen um 8 %, oder 64 Pfd. verminderten Erz- oder Beschickungs-

satz erreicht wird. Dabei obwaltet zugleich aber der sehr wesentliche Unterschied, dass die Erhöhung der Windtemperatur ihren mächtigen Einfluss allsogleich ausübt, während der verminderte Erzsatz erst nach seiner Ankunft vor den Formen zur vollen Wirkung gelangen kann. Wenn man daher jederzeit im Stande wäre, nach Bedarf die Windtemperatur zu erhöhen, so müsste ein sehr gleichartiges Roheisen erzeugt und eine Menge bedeutende und durch ihre Folgen kostspielige Störungen im Hohofengang hintangehalten werden können. Leider sind in dieser Beziehung die meisten derzeit in Schweden getroffenen Winderhitzungsapparate so schwach, dass man bei eintretendem unreinen Gang froh sein muss, wenn die Windtemperatur auf ihrer gewöhnlichen Höhe erhalten werden kann. Bei Hohöfen, mit derem Erhitzungsapparate es unter den normalen Verhältnissen nicht möglich ist, eine ansehnliche Steigerung der Windtemperatur über jene zu erreichen, mit der gewöhnlich geblasen wird, ist es bei eintretender Störung in der Regel nicht allein unmöglich, die Windtemperatur zu erhöhen, sondern in Folge der durch den gestörten Hohofengang herbeigeführten Verminderung der Hohofengase wird im Gegentheil die Windtemperatur bei solchen Anlässen nur vermindert. Anstatt durch den Winderhitzungsapparat ein Mittel zur Bekämpfung der Betriebsstörungen zu erlangen, wird derselbe bei so bewandten Umständen nur eine weitere Ursache zur Erhöhung der eingetretenen Störung. Es kann daher nicht bezweifelt werden, dass selbst jene schwedischen Hohöfen, welche ausschliesslich nur Roheisen für die Lancashireschmiede produziren, Veranlassung haben, stärkere Erhitzungsapparate als die bisher benützten aufzustellen, und deswegen dürfte es hier ganz am Platze sein, zu untersuchen, welche Fehler den bestehenden Apparaten anhaften, und wie denselben am leichtesten abgeholfen werden könnte.

§ 43. Der am meisten in die Augen fallende Fehler der schwedischen Erhitzungsapparate ist ohne Frage in den zu kleinen Dimensionen derselben gelegen, in Folge dessen die Erhitzungsoberfläche für den Wind eine viel zu kleine wird. Bisher ist der Nothwendigkeit einer der Windmenge entsprechenden Grösse der Erhitzungsapparate viel zu wenig

Aufmerksamkeit geschenkt worden, welches gleichwohl von der grössten Wichtigkeit ist; denn ein je grösseres Windquantum zu erhitzen ist, desto grösser muss die Erhitzungsoberfläche des Apparates sein, um ohne Ueberanstrengung, ohne Ueberhitzung desselben die gleiche Windtemperatur erlangen zu können, welche ohne Schwierigkeit mit demselben Apparat einer geringern Windmenge ertheilt werden kann. Je grösser die Winderhitzungsoberfläche ist, desto weniger Wärmeüberschuss über die gewünschte Windtemperatur ist erforderlich, desto dauerhafter wird der Apparat sein. Am anschaulichsten tritt dieses Verhalten bei den sogenannten Röhrenapparaten hervor; denn wenn dieselbe Windtemperatur in zwei Apparaten mit ungleich grosser Röhrenoberfläche zu Stande gebracht werden soll, so muss offenbar in dem kleinern Apparat nicht allein die Innenseite der Röhren, d. i. die Winderhitzungsoberfläche, wärmer gehalten werden, als im grössern Apparat, sondern dazu ist überdies nothwendig, dass der Temperaturunterschied zwischen der innern und der äussern Seite der Röhren bei dem kleinern Apparat grösser als bei dem andern gehalten werde, wodurch die Röhren des kleinern Apparates einem um so rascheren Verderben ausgesetzt sind. Uebrigens wächst der Temperaturunterschied zwischen der Innen- und Aussenseite der Röhren natürlich auch mit der Fleischdicke derselben, und man hat daher bei einer solchen Röhre mehr Nachtheil als Nutzen, wenn dieselbe dicker gemacht wird, als es in andern Rücksichten nothwendig wäre.

Aus dem Angeführten erhellt, dass bei kleinen Röhrenapparaten, um halbwegs eine etwas höhere Windtemperatur zu erzielen, dieselben vergleichungsweise sehr schnell zerstört werden müssen, und das diesbezügliche Bewusstsein war die Veranlassung, dass bei den meisten schwedischen Erhitzungsapparaten der kalte Wind zu unterst in den Apparat geleitet wird, wo die Hitze am grössten ist, und der Austritt des warmen Windes aus dem Apparat zu oberst erfolgt, wo die Hitze am geringsten ist. Soll dagegen das zur Erhitzung des Apparates verwendete Brennmaterial auf's Beste ausgenützt werden, so muss die Leitung des Windes gerade in der entgegengesetzten Richtung erfolgen, und nur

unter der Voraussetzung, dass die Leitung des Windes in dieser umgekehrten Richtung erfolgt, kann bei einer Vergrösserung der üblichen Apparate der entsprechende Vortheil erreicht werden. Mit wenig Ausnahmen sind nämlich die in Schweden gebräuchlichen Winderhitzungsapparate nach dem sogenannten Wasseralfinger Principe konstruirt, welche aus geraden horizontalen, an den Enden mit Kniestücken verbundenen Röhren bestehen.

§ 44. Im Vergleich mit den in andern Ländern mehr gebräuchlichen Gattungen von Röhrenapparaten, welche hauptsächlich aus vertikalen Röhren bestehen, führen die Wasseralfinger Apparate den Uebelstand mit sich, dass in Folge der horizontalen Lage der Röhren sich auf deren obern Seite sehr viel Staub ablagert, welcher das Wärmeleitungsvermögen beeinträchtigt, um so mehr, als er vermöge der porösen Beschaffenheit der von ihm gebildeten Hülle ein sehr schlechter Wärmeleiter wird. Wenn man jedoch von diesem Nachtheil der Wasseralfinger Apparate absieht, welcher Nachtheil durch eine entsprechende Reinigung der Hohofengase vom mitgeführten Staube, und die Anwendung elliptischer Röhren mit aufrechter Stellung der längern Achse, bedeutend vermindert werden kann, so bietet das Wasseralfinger Princip bei richtiger Anwendung gegenüber den Apparaten mit stehenden Röhren den wesentlichen Vortheil, dass bei dem erstgenannten die im Erhitzungsofen erzeugte Wärme so vollständig ausgenützt werden kann, wie es bei dem letzteren (mit den stehenden Röhren) kaum möglich ist.

Die Ursache hiervon liegt in dem Umstande, dass es bei den Erhitzungsapparaten mit vorwaltend stehenden Röhren nicht in gleicher Weise, wie in den Wasseralfinger Apparaten möglich ist, den Wind in einer dem Wärmegrad des Apparates entgegengesetzten Richtung, d. i. dergestalt zu leiten, dass der Wind von den am mindest erwärmten Theilen successive immer in die wärmern Theile gelangt. Dass diese Bewegungsrichtung des Windes zur bestmöglichen Ausnützung der im Apparate befindlichen Wärme die rationellste sein müsse, ist nicht schwer einzusehen. Wird nämlich der Wind bei seiner Erwärmung in derselben Richtung geleitet

in welcher die Wärme der Röhren abnimmt, so wird zwar die Wärmeaufnahme im Anfange in dem Verhältniss rascher erfolgen, als der Temperaturunterschied zwischen dem Wärme abgebenden und dem Wärme aufnehmenden Körper grösser ist; allein im weitern Verlauf nimmt dieser Temperaturunterschied sehr schnell ab, und ebenso rasch muss die Wärmeaufnahme im Winde abnehmen. Es würde daher von keinem Nutzen sein, bei dieser Windbewegung dem Apparat eine bedeutende Höhe zu geben, indem die aus dem Erhitzungsapparat abziehenden Verbrennungsprodukte immer noch etwas heisser sein müssen, als die höchste dem Winde ertheilte Temperatur ist. Die Wärme der Verbrennungsgase kann daher in einem derartigen Apparate niemals gehörig ausgenützt werden, und um eine entsprechende Winderhitzungsoberfläche zu erzielen, bleibt kein anderer Ausweg, als den Apparat in der Länge oder Breite auszudehnen. Um aber auf diesem Wege die beabsichtigte Temperatursteigerung des Windes zu erreichen, muss eine der vermehrten horizontalen Ausdehnung entsprechende Gasvermehrung zur Verfügung stehen.

Ganz anders stellt sich das Verhalten, wenn die Windrichtung eine solche ist, dass der Wind an jener Stelle in den Apparat gelangt, wo dieser am wenigsten erwärmt ist, und an jener Stelle aus dem Apparate tritt, wo die Temperatur am höchsten ist. Denn solange die Röhren wärmer sind als der Wind, wird dieser Wärme aufnehmen, daher können die aus dem Apparate abziehenden Verbrennungsprodukte ihrer Wärme so weit beraubt werden, dass sie nur noch einen geringen Ueberschuss über den daselbst ungewärmt eintretenden Wind besitzen. Bei einem derartigen Apparate befindet sich der Wind bei seinem Niedergange in einer beständigen Erwärmung, welche bei seinem Eintritt in den Apparat beginnt und erst mit seinem Austritte endet. Dabei ist zur Erlangung einer hohen Windtemperatur nur erforderlich, einerseits dass dem Apparate eine entsprechende Höhe gegeben wird, und andererseits dass die elliptischen Röhren in der Richtung der grössern Achse genügend erweitert werden, damit der Wind den Apparat nicht zu schnell passiren kann. In einem solchen Apparate müsste die Wind-

temperatur nahezu bis auf jene Höhe getrieben werden können, welche mit dem verwendeten Brennmaterial im Erhitzungsofen erzeugt wird, wenn dem nicht durch die nothwendige Dauerhaftigkeit der Erhitzungsröhren eine nähere Grenze gesetzt wäre. Jedenfalls wird in einem Apparate mit dieser Windrichtung, wenn derselbe entsprechend erhöht wird, auch bei unveränderter Menge der Verbrennungsgase eine nicht unbedeutende Effektsvermehrung erreicht.

Aus dem Angeführten ist ohne weitere Erörterungen leicht einzusehen, dass je niederer ein Wasseralfinger Apparat ist, desto kleiner auch der Vortheil sein muss, welcher durch die als correkt dargestellte Bewegungsrichtung des Windes, nämlich die von oben nach unten, erreicht wird. Dass aber selbst ganz kleine Apparate bei dieser richtigen Bewegung des Windes kräftiger wirken, als bei der in Schweden meist üblichen entgegengesetzten Bewegungsrichtung von unten nach oben, ist aus der auf der nächsten Seite folgenden Tabelle zu entnehmen, in welcher von mehrern Erhitzungsapparaten die diesfalls erhobenen Daten zusammengestellt sind.*) Es ist daraus ersichtlich, dass die kleinen Apparate zu Storbrohyttan, Gammelkroppa und Bredsjö einen bessern Effekt, als die andern gleichgrossen Apparate mit der entgegengesetzten Windrichtung, von unten nach oben, geben. Ganz besonders tritt der Vortheil einer rationellen Bewegungsrichtung des Windes bei dem Apparate zu Westanfors in die Augen. Denn obgleich bei diesem Apparate die Winderhitzungsoberfläche blos 0·176 Quadratfuss für jeden Kubikfuss des pr. Minute durchgepressten Windes beträgt, so ist doch von allen in der Tabelle aufgeführten Apparaten keiner, der eine so hohe Windtemperatur liefert, mit alleiniger Ausnahme des in letzterer Zeit aufgestellten Apparates zu Schisshyttan, welcher jedoch pr. Kubikfuss des in der Minute durchlaufenden Windes eine

*) Bezüglich der in dieser Tabelle angegebenen Windmengen ist zu bemerken, dass sie nach der gewöhnlichen Art berechnet wurden, bei welcher angenommen ist, dass die Düsen in die freie Luft ausblasen, was natürlich unrichtige Resultate giebt; allein da derselbe Fehler bei allen diesen Windmengen obwaltet, werden die betreffenden Ziffern zur gegenseitigen Vergleichung doch brauchbar.

Angaben bezüglich der Winderhitzungsflächen un Erhitzung

Name des Hohofens, wo der Winderhitzungsapparat sich befindet.	Beschaffenheit und Jahr der Aufstellung des Apparates.	Der Erhitzung		
		Länge.	äusserer Durchmesser.	innerer Durchmesser.
		Fuss	Linien	Linien
Silken	Wasseralfg. Princip 1871	51	58·3	50·0
Trummelsberg	- - 1869	—	91·6	75·
Efsjöhyttan	- - 1871	51	58·3	50·
Storbrohyttan	- - -	40	79·2	66·7
Gammelkroppa	- - -	40	79·2	66·7
Björnhyttan	- - 1870	—	100·	83·3
Högfors	- - -	61	79·2	66·6
Långbanshyttan . . .	- - 1871	60	79·2	66·7
Bredsjö	- - -	40	80·4	70·
Westanfors	- - 1869	70	87·	76·
Sandviken	- - -	—	59·	50·
Korsnäs	- - -	94·5	87·5	75·
Finnbo	- - -	—	75·	58·33
Starbo	- - 1870	—	83·3	66·6
Korsnäs	Stehende, rechteck. Röhren -	117	114·6 × 56·2	108·3 × 50
Schisshyttan	Wasseralfg. Princip -	—	83·3	66·6

Erhitzungsfläche von 0·373 Quadratfuss, mithin mehr als das doppelte von der vorgenannten hat.

Nachdem in dieser Tabelle die kräftigsten Erhitzungsapparate der schwedischen Hohöfen aufgenommen sind, so geht daraus um so deutlicher hervor, wie klein die Winderhitzungsoberflächen bei diesen Apparaten sind, namentlich gegenüber diesen Verhältnissen auf den englischen Hohöfen der neuern Zeit, wo gegenwärtig gewöhnlich 1 bis 1·25 Quadratfuss Erhitzungsfläche für jeden in der Minute durchströmenden Kubikfuss Wind gerechnet wird, während dieselbe auf den schwedischen Hütten in der Regel 0·15 Quadratfuss nicht übersteigt.

[d]er per Minute durchpassirenden Windmengen einiger [A]pparate.

[Rö]hren.		Düsen.		Des Windes				Windmenge pr. Minute von 0° = m.	Verhältniss zwisch. Windmenge u. Erhitzungsfläche.	
[Er]hitzungs-fläche A.	innere Er-hitzungs-fläche a.	Anzahl.	Durch-messer.	Pres-sung.	gewöhnl. Tempe-ratur.	möglichst höchste Tempera-tur.	Richtung im Apparat.		A/m	a/m
[Q]uad.-[F]uss	Quad.-Fuss		Linien	Linien Quecks.	C°	C°		Kbfss.		
[.]93·3	80·	2	20·31	13·5	160	200	v. unten n oben	892	0·104	0·089
[.]30·	188·	4	20·8	14·	180	300	„	1860	0 123	0·101
[.]93·3	80·	2	17·71	18·5	180	200	„	772	0·120	0·103
[.]99·4	73·8	3	1 z.14·38 2 - 15·62	13·	200	270	v. oben n. unten	705	0 141	0·104
[.]99·4	73·8	2	17·71	12	150	250	„	647	0·153	0·114
[.]13·	177·	2	22·9	15	150	—	v. unten n. oben	1208	0·176	0 147
[.]52·	127·	2	18·75	16	150	200	„	836	0·182	0·152
[.]19·	125·6	2	18·75	14	170	280	v. oben n. unten	765	0·195	0 164
[.]00·9	87·8	1	21·87	14	200	300	„	504	0·200	0·174
[.]92·	167·	2	21·87	15	300	über Quecksilb. Siedepkt. = 360	„	946	0·203	0·176
[.]46·4	208·8	4	15·50	18	225	—	v. unten n. oben	1116	0·221	0 187
[.]59.	220	—	—	—	180	200	„	1122	0 230	0.196
[.]56·	129	2	18·75	10	300	350	„	584	0 284	0·221
[.]50·	208	2	20·8	15	250	350	„	898	0·290	0 232
[.]97	368	—	—	—	260	350	—	1122	0·353	0·328
[.]19	335	2	20·8	18	350	400	„	896	0·467	0·373

§ 45. An Stelle der in Schweden jetzt gewöhnlichen Apparate, welche nur 3 bis 5 horizontale Röhrenreihen übereinander besitzen, sollten dieselben aus den angeführten Ursachen eine viel grössere Anzahl solcher horizontaler Röhrenlagen erhalten, der Erhitzungsofen also bedeutend erhöht und gleichzeitig natürlich auch die jetzt meist übliche Windrichtung umgekehrt werden, damit zu oberst der kalte Wind in den Apparat und zu unterst der erhitzte aus demselben gelangt. Ausserdem sollten die Röhren nicht rund, sondern oval geformt sein, damit sich weniger Staub (Flugasche) auf denselben absetzen kann, auch eine grössere Oberfläche für die Winderhitzung und ein grösserer Querschnitt für eine lang-

samere Windbewegung erzielt wird, ohne dass die in der Mitte der Röhren befindlichen Luftschichten von der Erhitzungsfläche zu weit abstehen.

Da in solchen erhöhten Winderhitzungsapparaten der Wärmeeffekt der Gase viel besser ausgenützt wird als in den gewöhnlichen, so ergiebt sich von selbst, dass hierdurch bei demselben Gasaufwande eine höhere Windtemperatur erreicht wird. Aber andererseits ist ebenso klar, dass je grösser die dem Hohofen pr. Minute zuzuführende Windmenge ist, desto grösser die Länge der horizontalen Röhren und somit der ganze Apparat gemacht werden, desto grösser die zu verbrennende Gasmenge sein muss, um die gleich hohe Windtemperatur zu erreichen.

Es ist übrigens selbstverständlich, dass bei jeder Art von Winderhitzungsapparaten die Windtemperatur wesentlich auf der disponiblen Gasmenge beruht. Und nachdem bei einem unreinen Hohofengang die Gasmenge, durch den vermehrten Widerstand der Schlacke gegen den Wind, vermindert wird, so muss für den Fall, dass der Erhitzungsapparat als Regulator für den Hohofengang zu gebrauchen sein soll: entweder die Gasmenge in einem solchen Ueberschusse vorhanden sein, dass bei einem normalen Gang eine viel höhere Windtemperatur erzeugt werden könnte, als bei einer eintretenden Unordnung wünschenswerth ist; oder es muss eine geschlossene Gicht oder eine derartige Gasansaugungsvorrichtung angebracht sein, dass man nach Belieben über die meisten im Hohofen erzeugten Gase verfügen kann.

§ 46. Damit in dem Erhitzungsapparat ein hoher Wärmegrad zu Stande gebracht werden könne, ist es ferner aber noch nicht genügend, stets die ausreichende Gasmenge zu haben, sondern es muss zugleich dafür gesorgt sein, dass alle in den Apparat geleiteten Gase entsprechend verbrannt werden, was nur bei einem gehörigen Luftzutritt möglich ist. Reicht die zugeführte Luft zur vollständigen Verbrennung der Gase nicht aus, so geht nicht allein jene Wärme verloren, welche durch die Verbrennung des überschüssigen Gasantheiles erzeugt werden könnte, sondern es nehmen überdies die unverbrannten Gase einen Theil der Wärme von den Verbrennungsprodukten auf. In ähnlicher Weise wird

andererseits der Wärmegrad aber auch dann vermindert, wenn mehr Luft als zur Verbrennung nothwendig ist hinzutritt. Es müssen daher solche Vorkehrungen getroffen sein, dass sowohl der Gas-, wie der Luftzutritt nach Belieben regulirt werden kann.

Ein Theil der schwedischen Erhitzungsapparate ist so klein und eng, dass im Falle, als man zur Erzielung einer höhern Temperatur mehr Gas einleitet, die zur vollständigen Verbrennung erforderliche Luft nicht mehr angesaugt werden kann, daher bei so bewandten Umständen durch eine vermehrte Gaszuleitung die Windtemperatur eher vermindert als vermehrt wird. Bei solchen kleinen, engen Apparatöfen erlangen bei vermehrtem Zutritt der Gase diese leicht eine solche Spannung, dass die Luft nur noch durch die zu unterst gelegenen Luftlöcher angesaugt werden kann, wogegen bei den obern, statt eines Einsaugens der Luft nur ein Austreten halbverbrannter Gase zu beobachten ist, während gleichzeitig ein Theil der Gase ohne allen Nutzen in der Zugesse und ausserhalb derselben verbrennt. Diesem Uebelstande kann durch eine Erhöhung des Apparates jedenfalls wesentlich abgeholfen werden. Allein wenn keine besondere Anordnung angebracht ist, um die Verbrennungsluft in den Apparat hinein zu pressen, was bei richtigen Verhältnissen allerdings entbehrlich ist, so soll immer darauf gesehen werden, dass der Erhitzungsofen genügend weit hergestellt wird, damit das Gas wie die Luft in demselben ungehindert emporströmen können. Denn bei zu engem Raum im Apparat, wenn das entsprechende Quantum an Gas und Luft nur durch einen starken Essenzug angesaugt werden kann, entsteht eine solche Geschwindigkeit in den Gasen und Verbrennungsprodukten, dass nicht die nöthige Zeit zur gewünschten Abgabe der Wärme an die Winderhitzungsröhren bleibt.*) Dass zu dem in Rede stehenden Zwecke die Einrichtung mit Tempern oder Klappen, welche an den En-

*) Bei dem in der vorstehenden Tabelle aufgenommenen Erhitzungsapparat in Trummelsberg war aus dieser Ursache bei der ersten Aufstellung desselben das Resultat ein sehr ungünstiges; nachdem die Ofenwände aber etwas auseinander gerückt und dadurch die Spannung der Gase soweit vermindert wurde, dass genug Luft angesaugt werden

den der Zugessen angebracht sind und als vorzügliches Mittel zur Regulirung des Zuges dienen, niemals fehlen sollen, bedarf kaum erwähnt zu werden.

Endlich ist es zur Erlangung eines guten Resultates nicht genügend, wenn dem Erhitzungsapparate überhaupt hinreichende Mengen von Gas und Luft zugeführt werden, sondern die Zuführung muss zugleich dergestalt geschehen, dass nicht an einer Stelle ein Ueberschuss an Gas, dagegen an einer andern ein Ueberfluss von Luft sich vorfinde. Wenn daher die Verbrennungsluft lediglich durch Oeffnungen in den Seitenwänden Zutritt erhält, so soll der Apparat nicht zu breit gemacht, oder zu viele Röhren neben einander liegend angebracht werden, sondern zur Erlangung der nöthigen Erhitzungsfläche mache man die Röhren länger. Ist dies aus örtlichen Verhältnissen nicht thunlich, so soll die Luftzuführung nach der Mitte des Apparates dadurch angestrebt werden, dass im Boden die Luftkanäle angebracht, oder andere zu demselben Ziele führende Anordnungen gewählt werden.

§ 47. So lange die Erhitzung des Windes in gusseisernen Röhren erfolgt, ist der Höhe der Temperatur desselben, durch die Gefahr einer zu schnellen Verbrennung des Apparates, eine gewisse Grenze gesetzt. Um sich dieser Begrenzung zu entledigen, war man seit der Anwendung des Siemens'schen Regenerativ-Principes bemüht, dieses auch für die Winderhitzung bei den Hohöfen dienstbar zu machen. Die nach diesem Principe konstruirten Apparate müssen natürlich stets paarweise (oder zu dreien) angeordnet werden, so dass der eine (oder zwei) durch die verbrennenden Gase in der Erhitzung begriffen ist, während in dem andern die Erhitzung des Windes erfolgt. Und nachdem der letztere hierdurch soweit abgekühlt worden ist, dass die Windtemperatur merklich abgenommen hat, wird die Bewegungsrichtung derart umgewechselt, dass die Gase in den vom Winde soeben etwas abgekühlten Apparat treten, wäh-

---

konnte, ward das in der Tabelle ersichtliche Resultat erlangt, welches mit Berücksichtigung der im Verhältniss zur erhitzenden Windmenge so geringen Erhitzungsfläche immerhin ein befriedigendes genannt werden muss.

rend der Wind nunmehr durch den früher von den Gasen erhitzten Apparat strömt.

Ein nach diesem Principe von Herrn Cowper zu Ormesby in Middlesbrough errichteter Apparat ist bereits in Jern-Kontorets Annaler für 1869 beschrieben worden, wozu hier nur bemerkt werden kann, dass man seither die vorerst, wie bei den Siemens'schen Regeneratoren gewöhnlich benützten Gitter von kreuzweise gelegten Ziegeln, mit aus den letztern gebildeten lothrechten Kanälen ersetzt hat, wodurch diese Regeneratoren vom abgesetzten Flugstaub nicht so schnell verlegt werden, und wenn sie nach längerer Zeit dennoch zu sehr verstaubt sein sollten, jedenfalls leichter zu reinigen sind.

§ 48. Ein anderer, nach demselben Principe konstruirter Winderhitzungsapparat, welcher angeblich blos nach je 3 Monaten einer Reinigung bedarf, wurde 1865 dem Herrn Whitwell patentirt, und da seither mehrere derartige Apparate ausgeführt und in verschiedenen Journalen empfohlen worden sind, so soll hier eine diesbezügliche von M. Servais in „Revue Universelle" für 1869 gelieferte Beschreibung gegeben werden.

Auf Tafel II ist in Fig. 1 ein Vertikalschnitt und in Fig. 2 ein Horizontalschnitt eines der aus 2 oder 4 solchen gleichen Theilen bestehenden Erhitzungssystemes nach Whitwell dargestellt. *A* ist der mit feuerfesten Ziegeln ausgefütterte Ableitungskanal für den erhitzten Wind, welcher von da bis zum Hohofen durch ein innen gleichfalls mit feuerfesten Ziegeln bekleidetes Eisenrohr übergeführt wird. Bei seiner Vereinigung mit dem genannten Kanale ist dieses Eisenrohr mit einem durch Wasser gekühltes Ventil verschliessbar, und desgleichen ist der Ventilsitz am Eisenrohr mit Wasser gekühlt, um den Verschluss für die Dauer luftdicht zu erhalten. Alles das ist auf der Zeichnung zwar nicht ersichtlich gemacht, dafür aber ist ein derartiges Ventil mit den Anordnungen der Wasserkühlung, bei dem Zuführungsrohr *B* für die Hohofengase, ersichtlich gemacht. Da es, wie leicht einzusehen, von grösster Wichtigkeit ist, dass der periodische Abschluss beim Gasrohre stets ein vollkommener sei, so wird der Abschluss nicht allein mit dem Wasser-

ventil *a* bewirkt, welches in Fig. 3 nach einem grössern Massstabe gezeichnet erscheint, sondern bei *x* ist überdies noch eine Schubplatte angebracht.

Zu einer möglichst vollständigen Verbrennung der Gase müssen diese bei ihrem Eintritt in den Apparat eine besondere Vorrichtung zur Vermengung mit der Luft passiren, welche so beschaffen ist, dass das Gas und die Luft durch 4 concentrische, ringförmige Oeffnungen eintreten. Die Verbrennungsluft wird nämlich durch, mit einer Drehplatte regulirbare Oeffnungen *b b* angesaugt, und gelangt sodann durch die beiden, mit den Gaszuleitungsöffnungen *c c* concentrischen Ringöffnungen *d d* in den Apparat. Sollte die Verbrennung dennoch unvollständig bleiben, so kann zur grössern Sicherheit auch durch die Kanäle *e* Luft eingelassen werden. Diese Kanäle sind mit der Röhre *f* in Verbindung, welche letztere natürlich mit einer Schubplatte nach aussen vollkommen abzuschliessen ist.

C ist das mit einem Schuber schliessbare Zuleitungsrohr für den kalten Wind. *D* ist das Rohr, durch welches die Verbrennungsprodukte zur Esse geleitet werden, und das nicht allein mit dem Ventile *g*, sondern zur mehrern Sicherheit für einen luftdichten Abschluss noch bei *y* mit einer Schubplatte versehen ist.

E E sind Reinigungsöffnungen, welche durch Ventile geschlossen und diese vor der Hitze einfach dadurch geschützt sind, dass in den entsprechenden Gewölbsöffnungen feuerfeste Steine eingesetzt werden. *F F* sind Reinigungsöffnungen am Boden des Apparates.

G G sind Wände, durch welche der Apparat in mehrere untereinander communicirende Kammern abgetheilt wird. Diese Wände sind nämlich abwechselnd theils fortgesetzt bis zur Decke, theils etwas darunter aufhörend, und diejenigen, welche auf der einen Seite bei der winkelrechten Querwand *H* aufhören, bevor sie die Decke erreichen, sind dagegen auf der andern Seite mit der Decke geschlossen, und umgekehrt. Die Querwand *H* selbst reicht nirgends bis auf den Boden nieder, sondern wird durch die kleinen Gewölbe *h* getragen, zwischen denen und dem Boden die Gase daher von einer Kammer zur andern fortschreiten

können. Ausserdem ist endlich die mehrgenannte Wand *H*, in jeder der beiden Endkammern, an 3 Stellen *II* durchbrochen, so dass von diesen beiden Kammern kaum gesagt werden kann, dass sie von der Querwand in zwei Theile getrennt seien. Die Kammern sind in den Figuren nach der Ordnung numerirt, in welcher sie bei ihrer Erhitzung von den Gasen durchzogen werden. Wenn dagegen der Apparat von dem zu erhitzenden Wind durchströmt wird, so geschieht dies selbstverständlich gerade in der entgegengesetzten Ordnung.

Die Wände in der Kammer 1, welche der grössten Hitze ausgesetzt sind, werden aus Quarzziegeln oder aus solchen Ziegeln aufgeführt, welche zu gleichen Theilen aus Ganister und feuerfestem Thon bereitet wurden; die übrigen Wände aber werden aus gewöhnlichen feuerfesten Ziegeln hergestellt. Um der Spannung des Windes zu widerstehen, ist der ganze Apparat von einem gut vernieteten Blechmantel umfangen; und damit dieser durch die Ausdehnung der Wände bei der Erhitzung nicht gesprengt werden kann, wird zwischen ihm und der äussern cylindrischen Fläche des Mauerwerkes, ein mit lockerem Materiale ausgefüllter Zwischenraum von ungefähr 1 Zoll Dicke gelassen. Für jeden Kubikfuss auf 0° und mittleren Barometerstand reducirten Wind, welcher pr. Minute in dem Apparate zu erwärmen ist, wird eine Erhitzungsoberfläche von 4 Quadratfuss gerechnet.

Die Wartung des Apparates wird in der Art gehandhabt, dass sobald durch die Spählöcher *r r* die Temperatur im Innern soweit gesunken erscheint, dass blos noch der dritte, der Gaseinleitung zunächst liegende Theil des Ganzen helle Rothhitze zeigt, die genannten Ventile und Schuber umgesteuert werden; bis zu dieser Zeit ist der andere, bis dahin in der Erhitzung durch die Gase begriffen gewesene Apparat soweit erhitzt, dass nur das dem Ableitungsrohr *D* zunächst gelegene Drittel durch die Spählöcher nicht rothglühend erscheint. Dieser mehr erhitzte Apparat dient nach der Umsteuerung zur Winderhitzung.

Die Umsteuerung selbst wird in der Ordnung durchgeführt, dass zuerst bei dem in der Erhitzung begriffenen

Apparate das Ventil des Ableitungsrohres *D* nach der Esse, dann das Zuleitungsrohr *B* für die Gase nebst den Oeffnungen *b b* für die Verbrennungsluft geschlossen werden; hierauf wird das Zuleitungsrohr *C* für den kalten Wind und endlich der Ableitungskanal *A* für den erhitzten Wind geöffnet. Der andere Apparat, in welchem bisher die Winderhitzung erfolgt ist, blieb bis jetzt unberührt, daher während einiger Augenblicke beide Apparate vom Winde durchströmt werden, was jedoch nicht länger belassen werden darf, sondern sobald, als die angegebene Ventilumsteuerung bewerkstelligt und die Schubplatten *x* und *y* geschlossen sind, wird zum andern Apparat übergegangen, welcher für seine Erhitzung zu stellen ist. Zu diesem letztern Zwecke wird vorerst das Ventil des Ableitungskanales *A* für den warmen Wind und darnach der Schuber im Windzuleitungsrohr *C* geschlossen; hierauf wird das Ventil und der Schuber des zur Esse führenden Ableitungsrohres *D*, und dann werden die in der Gas- und Luftzuführungsröhre *B* und *b b* befindlichen Ventile und Schuber geöffnet.

Diese Umsteuerungen in der Bewegungsrichtung der Gase und des Windes haben sich, bei dem angegebenen Verhältnisse zwischen der Erhitzungsfläche und der Windmenge, nicht öfter als nach je zwei Stunden nöthig gezeigt, und doch wird behauptet, dass dabei die Windtemperatur gleichförmiger bleiben soll, als dies bei den gewöhnlichen Röhrenapparaten der Fall ist. (?)

Die Einrichtung der zum Abschliessen in den Gaskanälen und der Warmwindleitung angewendeten Ventile mit Wasserkühlung, ist aus Fig. 3 zu entnehmen. Das halbkugelförmige Ventil *S* ist mit der gusseisernen Röhre *T* vereinigt, welche letztere durch die Stopfbüchse *s* hindurchgeht und mit Zuhilfenahme einer über das Rad *U* gelegten, in der Zeichnung jedoch nicht ersichtlich gemachten Kette leicht gehoben und gesenkt werden kann. *V* ist ein Gegengewicht, mit dem das Gewicht des Ventiles balancirt wird, und *t* ist eine unverrückbar befestigte Röhre, durch welche kaltes Wasser in die durch *T* niederführende Röhre *u* geleitet wird. So gestaltet gelangt das Kühlwasser unmittelbar zum Ventile selbst, wogegen das warmgewordene Wasser zwischen *u*

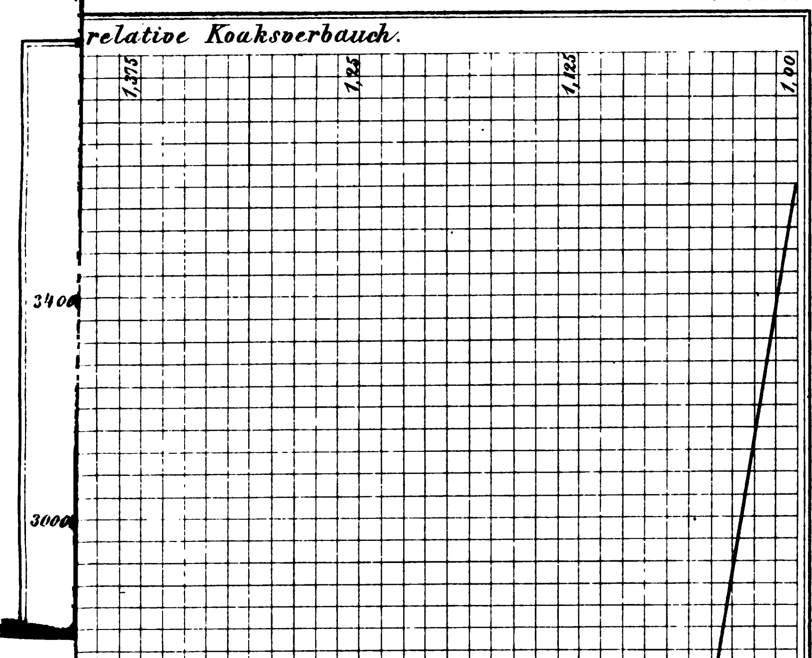
und *T* zu *v* emporsteigt, um sofort nach der fixen Röhre *w* zu gelangen. Aus *w* wird das Wasser weiter noch durch *z* nach *p* geleitet, um daselbst noch durch Umkreisung im Innern das Rohrende *q q* zu kühlen, worauf es endlich durch *r* ins Freie gelangt.

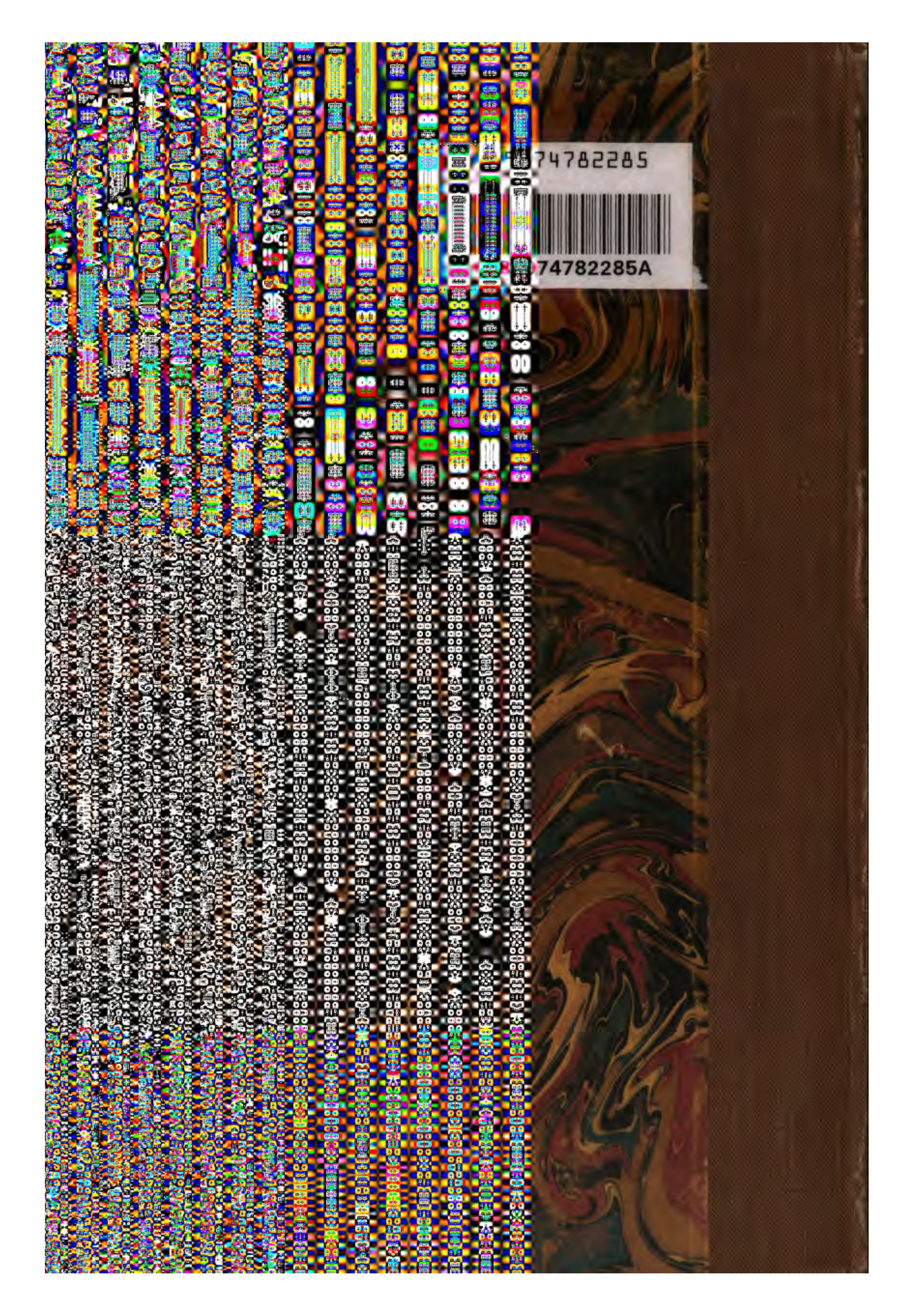
Im Jahre 1868 ward zu Consett in England ein Whitwell'scher Erhitzungsapparat aufgestellt, welcher im Ganzen aus 4 solchen einzelnen Oefen oder Apparaten, wie der hier beschriebene, bestand, von welchem immer gleichzeitig 2 mit verbrennenden Hohofengasen erhitzt wurden, während die beiden andern zur Winderhitzung dienten. Jeder dieser Oefen war 25·5 Fuss hoch, hatte 23 Fuss Durchmesser, und enthielt 9,480 Quadratfuss innere Wandfläche, daher die ganze gleichzeitig wirkende Winderhitzungsfläche 18,960 Quadratfuss betragen hat. Der Hohofen, zu dem dieser Erhitzungsapparat gehörte, ist nach Angabe des Herrn Whitwell 56·5 Fuss hoch, 20·5 Fuss weit im Kohlensack und 7·7 Fuss am Boden, und lieferte bei einer Gattirung von $^2/_3$ Clevelanderz mit $^1/_3$ Rotheisenstein (der nicht angegebene Beschickungsgehalt dürfte an 50 % betragen haben) circa 10,000 Ctr. Roheisen pr. Woche. Die Temperatur des Windes, mit einem Siemens'schen Pyrometer gemessen, wird zu 750° C., und der Koaksbedarf pr. Ctr. Roheisen mit 0·87 Ctr. angegeben. In einem andern gleich grossen Hohofen an demselben Orte, welcher damals noch mit einem Röhrenapparat versehen war und mit einer Windtemperatur von beiläufig 480° C. arbeitete, auch in der wöchentlichen Roheisenproduktion dem erstgenannten Hohofen völlig gleichgekommen ist, stellte sich der Koaksbedarf nach Herrn Whitwell's Angabe auf 1·125 Ctr. pr. Ctr. des dargestellten Roheisens.

Der Whitwell'sche Apparat zu Consett, welcher mit 2·7 Linien dicken Eisenblechen umkleidet ist, soll nach Angaben von M. Servais sehr dicht sein und weniger Verlust an der Windpressung zur Folge haben, als dies in Röhrenapparaten gewöhnlich der Fall ist, indem die beobachtete Pressung bei den Düsen 65 Linien und bei der Gebläsmaschine 67 Linien Quecksilbersäule zeigte.

Druck von A. Th. Engelhardt in Leipzig.

Tafel I.




74782285
74782285A